

Пролетарии всех стран, соединяйтесь!

Р. С. Ф. С. Р.

Научно-Технический отдел В. С. Н. Х.

Б. Серия № 4.

Инженерно-Промышленная библиотека.

№ III.—8.

ДНИСИМОВ Н. И. инж.

627.82

а-67

ПЛОТИНЫ

ВОДОУДЕРЖАТЕЛЬНЫЕ и ВОДОПОДЪЕМНЫЕ.

проверено
1963 г.

ЧАСТЬ I.

ВОДОУДЕРЖАТЕЛЬНЫЕ ПЛОТИНЫ.



Государственное Техническое Издательство.

Москва, 1923.

Перепечатка без разрешения
Гостехиздата не допускается.

ОГЛАВЛЕНИЕ.

ВВЕДЕНИЕ.

- § 1. Классификация плотин.
- § 2. Цель устройства плотин в разных областях гидротехники.
- § 3. Условия устройства плотин (общие соображения).

Часть 1-ая.

Плотины водоудержательные.

| | стр. |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| Глава первая. Общие соображения. | 5 |
| Глава вторая. Земляные плотины и плотины из каменной наброски. | |
| § 1. Земляные плотины из однородного грунта по всему профилю. | 7 |
| § 2. Земляные плотины с ядром из водонепроницаемого грунта. | 12 |
| § 3. Земляные плотины с диафрагмой из каменной кладки, железобетона и др. | 14 |
| § 4. Земляные плотины смешанной конструкции. | 18 |
| § 5. Намывные плотины. | 19 |
| § 6. Плотины из каменной наброски. | 23 |
| § 7. Ошибки в проектировании и возведении плотин земляных и из каменной наброски и разрушение плотин. | 25 |
| § 8. Водосливы и водоспуски земляных плотин. | 26 |
| Глава третья. Каменные плотины. | |
| § 1. Общие соображения. | 32 |
| § 2. Определение профиля плотины. | 33 |
| § 3. Водосливы и водоспуски каменных плотин. | 44 |
| Глава четвертая. Железобетонные и металлические плотины. | |
| § 1. Железобетонные плотины. | 46 |
| § 2. Металлические плотины. | 52 |

Приложение к части 1-й.

Новейшие итальянские водоудержательные плотины.

| | |
|--------------------------------------------|----|
| § 1. Введение. | 55 |
| § 2. Земляные плотины. | 55 |
| § 3. Плотины из каменной наброски. | 57 |
| § 4. Каменные плотины. | 59 |
| § 5. Железобетонные плотины. | 66 |

Часть II-ая (печатается).

Водоподъемные плотины.

Глава первая. Введение.

- § 1. Общие соображения. Принятая классификация.
- § 2. Основные части профиля водоподъемной плотины, их роль в службе плотины и определение их размеров.

Глава вторая. Водосливные (глухие) плотины.

- § 1. Данные для расчета отверстий плотин.
- § 2. Деревянные плотины.
- § 3. Каменные плотины.
- § 4. Железо-бетонные плотины.
- § 5. Металлические плотины.

Глава третья. Разборчатые плотины.

Раздел I. Введение.

Возникновение разборчатых плотин, их развитие и главнейшие типы. Требования, предъявляемые к разборчатым плотинам. Принятая классификация.

Раздел II. Разборчатые плотины с постоянными опорами затворов.

- § 1. Данные для расчета отверстий плотин.
- § 2. Шандорные плотины.
- § 3. Спицевые плотины.
- § 4. Щитовые плотины. Щит. Стоnea. Русский тип деревянной щитовой плотины с постоянными стойками.
- § 5. Вальцовые плотины.
- § 6. Сегментные плотины.

Раздел III. Разборчатые плотины со съёмными опорами затворов.

- § 1. Данные для расчета отверстий плотин.
- § 2. Русский тип деревянной разборчатой плотины со съёмными стойками.
- § 3. Плотина Поаре. Флутбеты плотин: бетонные, железо-бетонные и деревянные.
- § 4. Плотина Томаса.
- § 5. Плотина Тавернье.
- § 6. Плотина Тенара.
- § 7. Плотина Шаноана.

Раздел IV. Разборчатые плотины, работающие при действии силы подпора воды.

- § 1. Плотины Дефонтена, Жирара, Кранца, Делля и секторные плотины.
- § 2. Плотина Бертреп.

Глава четвертая. Выбор типа водоподъемной плотины и расположение сооружений в плане.

- § 1. Выбор типа.
- § 2. Расположение сооружений в плане.

Глава пятая. Плотоходы.

- § 1. Общие соображения о пропуске сплаваемого леса чрез плотину.
- § 2. Лесоспуски.
- § 3. Плотоходы.

Глава шестая. Рыбоходы.

- § 1. Общие соображения. Две группы рыб. Необходимость устройства рыбоходов для обеих групп.
- § 2. Расположение рыбоходов в плане. Примеры.
- § 3. Конструкция рыбоходов для проходных рыб.
- § 4. Особенности конструкции рыбоходов для оседлых рыб.
- § 5. Питание рыбоходов.

Глава седьмая. Производство работ.

- § 1. Общие соображения.
- § 2. Деление на очереди.
- § 3. Перемычка.
- § 4. Водоотлив и силовая станция.
- § 5. Земляные работы.
- § 6. Заготовка материалов.
- § 7. Бетонные работы.
- § 8. Перемычка по флютбету (переходная перемычка).
- § 9. Разборка перемычки.
- § 10. Особенности производства работ по постройке плотин в Америке.

Литература по водоудержательным плотинам.

- 1. Акулов К. А. Судоходные каналы.
 - 2. Бассель. Земляные плотины.
 - 3. Эброжек. Курс внутренних водяных сообщений.
 - 4. Крейтер. К вопросу о расчете и возведении каменных водоудержательных плотин.
 - 5. Bligh. The practical design of irrigation works.
 - 6. Civil Engineer's Pocket Book.
 - 7. De Mas. Canaux.
 - 8. Emperger. Eisenbetonbau.
 - 9. Schuyler. Reservoirs for irrigation.
 - 10. Smith. The construction of masonry dams
 - 11. Wegman. The design and construction of dams.
 - 12. Wilson. Irrigation Engineering.
 - 13. Ziegler. Talsperrenbau и друг.
-

Предисловие к первой части.

Предлагаемый конспект лекций посвящен вопросу о вододержательных плотинах.

Приложением к конспекту являются сведения о новых итальянских вододержательных плотинах, заимствованные из докладов итальянских инженеров Luiggi и Forti.

Доклады подготовлены на XIII Международный Судоходный Конгресс, назначенный в Лондоне на июль месяц 1923 г.

Часть вторая конспекта посвящена вопросу о водоподъемных плотинах, по программе, приложенной к 1-ой части.

Автор.

Введение.

1. *Цель устройства плотин в разных областях гидротехники.*
2. *Классификация плотин.*
3. *Условия устройства плотин (общие соображения).*

Плотины устраиваются поперек рек, ручьев, балок и оврагов для задержания и сохранения воды, а также для подема ее уровня и использования при этом части протекающей воды.

Задержанная вода используется для орошения, водоснабжения, разведения рыбы, а также, как источник силы для приведения в действие водяных двигателей.

Кроме того, плотины применяются при дополнительном питании и шлюзовании рек, при защите от наводнений и проч.

Плотины, сооружаемые при устройстве водохранилищ, носят название вододержательных плотин.

Последние имеют целью использование всей или большей части задержанной воды и имеют характерные конструктивные особенности.

На реках обычно устраиваются так называемые водоподъемные плотины, имеющие целью поднятие уровня воды в реке до требуемого горизонта в различных целях.

1) Чтобы использовать часть воды для орошения, направив воду самотеком в оросительные каналы.

1) Для получения напора воды в целях использования силы падения воды.

3) Для улучшения судоходных условий рек и других целей.

При этом утилизируется не вся протекающая вода, а лишь часть ее, иногда весьма незначительная.

Классифицируют плотины также по роду материала: земляные, каменные, деревянные, железобетонные, металлические, смешанные.

Условия устройства плотин для тех или иных целей различны между собой.

При возведении плотины на реках прежде всего приходится считаться с количеством воды, протекающей по реке и с последствиями, какие будет иметь создание подпора воды на приречные земли.

При этом важное значение имеют длина, на которую распространяется подпор выше плотины, и высота берегов реки в пределах подпорного участка реки.

По существующим законам на реках судоходных нельзя ставить плотин, затрудняющих судоходство.

То же самое относится к сплавным рекам: в этом случае должно быть предусмотрено в плотине плотоходное отверстие.

Образуемый плотиной подъем воды, вообще говоря, не должен вызывать затопления вышележащих культурных земель и лугов, а также производить подтопа мельниц и других вододействующих устройств, лежащих вверх по реке.

Владельцы земель, расположенных ниже плотины по реке, также имеют право ходатайствовать об уничтожении или переустройстве плотины, если она задерживает столько воды, что ее недостает для удовлетворения их потребностей.

Очевидно, для устраивающего плотину важно знать, на какое расстояние вверх по реке распространится подпор и останется вода в пределах русла или пойдет на сторону.

Чтобы получить материалы для решения этих вопросов, нужно произвести топографическую съёмку участка реки.

Тогда, оперируя с одной стороны планом участка в горизонталях, а с другой стороны основными заданиями и известными формулами гидравлики, выражающими закон распространения подпора вверх по реке (Рюльман, Толькмитт, Бресс), легко можем выяснить, в каких пределах может колебаться допустимая высота подпора при устройстве плотины на данном участке реки.

Очевидно, при устройстве плотин в целях использования силы падения воды крайне желательно располагать высокими берегами реки, ибо можно достигнуть большего подпора, не затопляя прибрежных местностей.

При устройстве плотины на реке для использования воды в целях орошения—наоборот, препятствием является излишняя высота берегов.

Для проведения подпертой воды от реки к орошаемой площади желательно, чтобы проводимая вода могла самотеком распределяться по орошаемой площади, и чтобы холостая часть канала не была слишком значительна по длине и издержкам на ее устройство.

Устройство речных плотин с целью орошения самотеком, естественно, возможно лишь в тех случаях, когда уровень подпертой воды будет выше поверхности орошаемых земель.

Величина этой разницы в высоте должна быть тем более, чем дальше орошаемый участок от головы канала, отводящего воду из реки.

При устройстве плотин на балках и оврагах необходимо, кроме того выяснить, будет ли приток воды достаточен для образования водохранилища, и может ли вода держаться в нем до того времени, когда предполагается водой воспользоваться.

Не касаясь общих вопросов (гидрологич., метеорологическ., топографических и пр.) в применении к устройству вододержательных плотин и отнеся эти вопросы к курсам гидрологии и регулирования стока, перейдем к конструкции вододержательных плотин.

Плотины вододержательные.

Глава первая.

Общие соображения.

Вододержательные плотины устраиваются земляные, каменные, железобетонные, металлические и смешанной конструкции. Впрочем, устраиваются и деревянные вододержательные плотины, конструкция коих весьма сходна с конструкцией плотин водоподъемных, описанных во второй части конспекта.

Каждая вододержательная плотина имеет два рода отверстий для пропуска воды: первое—водосливное—для пропуска излишней притекающей воды, повышающей подпорный горизонт; второе—водоспускное—для пропуска из водохранилища тех объемов воды, которые утилизируются для определенных целей, а также для опорожнения водохранилища.

Отверстия для опорожнения водохранилища иногда устраиваются отдельно.

Очевидно, чем ниже расположить водоспускное отверстие плотины, тем большим объемом воды водохранилища будем фактически распоряжаться; чем выше расположим водоспускное отверстие, тем меньшим объемом воды будем в состоянии пользоваться, увеличивая „мертвый“ объем водохранилища.

Что касается водосливного отверстия, то его необходимо располагать на высоте подпорного горизонта плотины с тем, чтобы водослив прекращал дальнейшее накопление воды в водохранилище, автоматически начиная действовать при повышении горизонта воды над порогом водослива.

Выбор материала для устройства плотин зависит от условий геологических, топографических, а также от стоимости тех или иных материалов в данном месте, учитывая и транспортировку их к месту плотины.

Хорошо построенные земляные плотины так же прочны и надежны, как и каменные, а в иных случаях даже более надежны.

В местностях, подверженных землетрясениям, или там, где основание плотины—неоднородная скала—земляная плотина всегда предпочтительнее каменной. Она обычно дешевле каменной, а в случае тяжелых транспортных условий разница в стоимости еще более возрастает.

Снабженная прочно устроенным водосливом достаточной ширины для пропуска максимального возможного притока воды, земляная плотина, вообще говоря, предпочтительна в мягком, сыром климате.

В теплом, сухом климате она подвержена пересыханию и растрескиванию, если возведение плотины производилось не слишком тщательно.

Если основание—скала или галька, при этом землистого грунта мало, а рваный камень обходится дешево при дорогом цементе—лучший тип плотины при этих условиях—плотина из каменной наброски.

При высоте плотины свыше 30 метр., в случае надежного скалистого основания, каменная плотина предпочтительна, ибо стоимость может оказаться, при этом не выше, чем для земляной плотины или для плотины из каменной наброски, а обеспечить прочность каменной плотины вызывает меньше затруднений.

Земляную плотину на скалистом основании допустимо устраивать лишь в случае применения каменной или бетонной диафрагмы в теле плотины в виду затруднительности достигнуть плотного сопряжения скалы с землей. Плотина из каменной наброски может устраиваться на скалистом и всяком другом неразмываемом грунте.

Место для земляных плотин определяется конфигурацией местности, позволяющей устроить водоем.

Однако нет возможности выбрать место исключительно по топографическим условиям.

Необходимо до этого произвести тщательное геологическое исследование как места под водохранилище, так и под самую плотину.

При этом бурением и шурфованием должен быть выяснен характер напластования и толщина материкового слоя.

Геологическое обследование может дать результаты, которые заставят отказаться от выбранного места под водохранилище и под плотину.

Наиболее благоприятное положение места под водохранилище изображено на черт. № 1 (синклиналь).

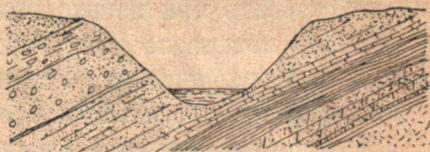
При этом водохранилище будет наиболее обеспечено водой, выпадающей и стекающей со склонов, а также просачивающейся по водопроницаемым слоям.



Черт. 1.



Черт. 2.



Черт. 3.

Менее всего благоприятно антиклинальное расположение напластований, ибо при этом вода будет уходить из водохранилища по водопроницаемым слоям (черт. № 2).

Промежуточное положение имеем на черт. № 3 при наклонно-падающих пластах, когда верхние пласты будут доставлять воду в водохранилище, а нижние могут удалять ее путем фильтрации.

Очевидно, чтобы остановиться на последнем расположении пластов, необходимо иметь результаты дополнительных исследований, рисующих положение в благоприятную сторону.

Например, если наружный слой поверхности под водохранилищем представляет собой солидный пласт мало проницаемого грунта, можно не опасаться потери воды вследствие фильтрации.

При исследовании грунта на большой глубине (под плотину) необходимо прибегать к бурению; при умеренных глубинах следовало бы применять шурфование, ибо только таким способом можно определить истинный характер подстилающих пластов, а также условия залегания коренной породы.

Необходимо избегать редкого расположения шурфов и скважин, ибо вместо цельного пласта определенного грунта на деле могут оказаться лишь небольшие „карманы“ этого грунта.

Глава вторая.

Земляные плотины и плотины из каменной наброски устраиваются следующих типов:

1. Земляные плотины из однородного грунта по всему сечению.
2. „ „ с ядром из водонепроницаемого грунта.
3. „ „ с диафрагмой из кладки на растворе железа и железо-бетона.
4. „ „ смешанной конструкции (с каменной наброской).
5. Намывные плотины.
6. Плотины из каменной наброски.

Перейдем непосредственно к описанию и определению необходимых размеров профиля плотины первого типа.

При этом попутно выясняются соображения, являющиеся общими для всех указанных типов плотин.

§ 1. Земляные плотины из однородного грунта по всему профилю.

Прежде всего установим рациональный профиль плотины (поперечное сечение).

Ширина по верху плотины берется не меньше 6¹/₂, а при высоте свыше 4—5 саж. доходит до 10¹/₂.

В случае необходимости иметь езду по плотине, ширину берут не меньше 2 саж. и определяют часто по формуле

$$s = 3 + \frac{5}{17} (h - 3), \text{ где}$$

s — ширина плотины поверху и

h — высота плотины. Все выражено в метрах.

Значительная ширина поверху крайне желательна и по условиям производства работ, позволяя легче маневрировать катками и рабочей силой.

Например, если наружный слой поверхности под водохранилищем представляет собой солидный пласт мало проницаемого грунта, можно не опасаться потери воды вследствие фильтрации.

При исследовании грунта на большой глубине (под плотину) необходимо прибегать к бурению; при умеренных глубинах следовало бы применять шурфование, ибо только таким способом можно определить истинный характер подстилающих пластов, а также условия залегания коренной породы.

Необходимо избегать редкого расположения шурфов и скважин, ибо вместо цельного пласта определенного грунта на деле могут оказаться лишь небольшие „карманы“ этого грунта.

Глава вторая.

Земляные плотины и плотины из каменной наброски устраиваются следующих типов:

1. Земляные плотины из однородного грунта по всему сечению.
2. „ „ с ядром из водонепроницаемого грунта.
3. „ „ с диафрагмой из кладки на растворе железа и железо-бетона.
4. „ „ смешанной конструкции (с каменной наброской).
5. Намывные плотины.
6. Плотины из каменной наброски.

Перейдем непосредственно к описанию и определению необходимых размеров профиля плотины первого типа.

При этом попутно выяснятся соображения, являющиеся общими для всех указанных типов плотин.

§ 1. Земляные плотины из однородного грунта по всему профилю.

Прежде всего установим рациональный профиль плотины (поперечное сечение).

Ширина по верху плотины берется не меньше 6^м, а при высоте свыше 4—5 саж. доходит до 10^м.

В случае необходимости иметь езду по плотине, ширину берут не меньше 2 саж. и определяют часто по формуле

$$e = 3 + \frac{5}{17} (h - 3), \text{ где}$$

e — ширина плотины поверху и

h — высота плотины. Все выражено в метрах.

Значительная ширина поверху крайне желательна и по условиям производства работ, позволяя легче маневрировать катками и рабочей силой.

Превышение гребня плотины над подпорным горизонтом берется в зависимости от принятого допустимого повышения подпорного горизонта при работе водослива, а также в зависимости от максимальной высоты волны, развиваемой в водохранилище при самом сильном ветре. Для плотин средней высоты обычно берут $\sim 5'$ над самым высоким горизонтом в водохранилище при полной работе водослива.

Что касается откосов, то уклон их зависит от способа их укрепления, а также от материала, составляющего тело плотины.

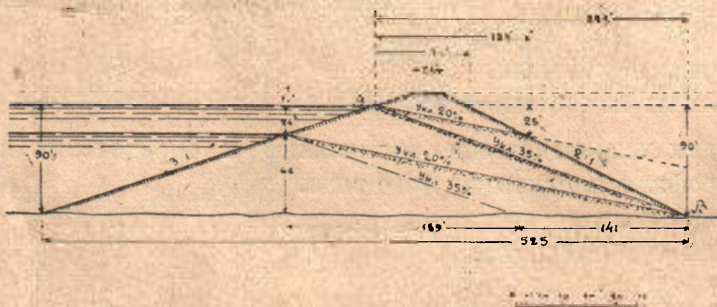
В виду смачивания внутреннего откоса ему придают более пологий уклон, нежели наружному откосу.

Так, если наружный откос взять $1:2\frac{1}{2}$ (1 по вертикали и $2\frac{1}{2}$ —по горизонтали), то внутренний берется $1:3$.

Уклон наружного откоса колеблется обычно в пределах от $1:1\frac{1}{2}$ до $1:3\frac{1}{2}$ в зависимости от материала тела плотины.

При этом всякий раз неизменно обеспечивают коэффициент устойчивости плотины на скольжение $\tau_{\min} = 10$ при коэффициенте трения от 0,50 до 1,00 (0,50 для сырой глины).

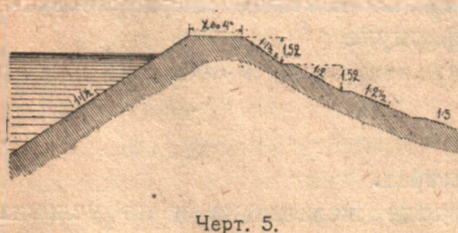
Детали очертания профиля по увязке упомянутых соображений могут быть окончательно определены, если примем также во внимание опытные данные, по которым в лучших насыпях линия падения напора фильтрующей воды имеет уклон к горизонту в 35% , а в случае не вполне тщательной трамбовки и материалов плохого качества уклон „депресссион-



Черт. 4.

ной линии“ значительно положе: до 20% , т. е. уклон $AB = 20\% — 35\%$ (черт. № 4).

Необходимо, чтобы депрессионная линия оставалась внутри профиля во избежание разрушения наружного откоса, а затем и всей плотины.

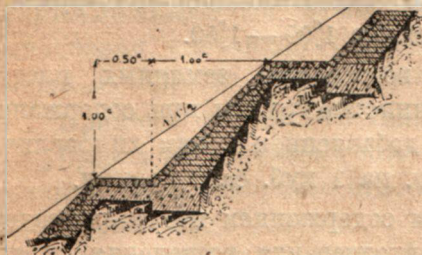


Черт. 5.

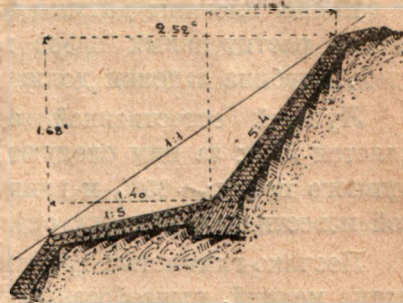
Следовательно, если точка В выходит из профиля, то необходимо откос снабдить бермой, усилив тем самым профиль с тем, чтобы откос лежал весь справа от АВ, чем обеспечены гарантии против размыва плотины

фильтрующей водой внутри тела плотины (черт. № 5).

Напорный откос и верх плотины небольшой высоты должен быть обделан каменной мостовой на слое щебня или гравия, а с наружной стороны можно покрыть откос дерном, укрепив засевкой и рассадкой.



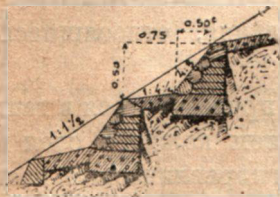
Черт. 6.



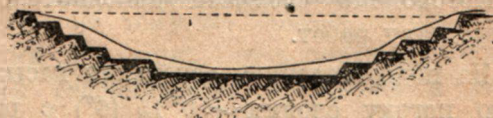
Черт. 7.

При более, значительных высотах укрепление делается в виде ступенчатой кладки, как показано на черт. №№ 6, 7 и 8.

Различные типы укреплений откосов увидим далее на примерах существующих плотин.



Черт. 8.



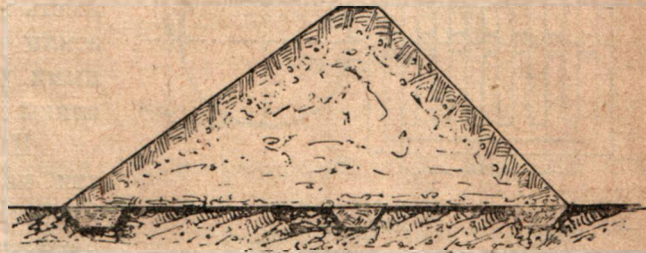
Черт. 9.

Исследование грунта под основание плотины должно быть произведено с особой тщательностью.

Лучшее основание для земляной плотины—песчано-глинистый грунт или галечно-глинистый, глина, а также допустим чистый песок.

Никак нельзя допускать, возведения земляной плотины на сланцеватой глине.

Грунт в пределах основания должен быть совершенно освобожден от растительного покрова и по продольному профилю плотины должен быть срезан горизонтальными уступами (черт. № 9). Последнее необходимо для связи насыпи плотины с



Черт. 10.

основанием. В грунте водопроницаемом для увеличения длины пути фильтрующей воды устраивают рвы в направлении, параллельном оси плотины, которые затем заполняются водоупорным грунтом насыпи плотины (черт. № 10).

Глубина рвов определяется величиной подпора плотины или глубиной залегания водоупорного грунта и не должна быть меньше $0^{\circ}50$.

Рвы должны быть трапециoidalного сечения и никак не прямоугольного, чем достигается лучшая работа заполненных рвов.

Концы плотины должны быть надежно заделаны в грунт, освобожденный от растительных слоев во избежание обхода концов фильтрующей водой. Глубина заделки должна быть не менее $1^{\circ}00$ — $1^{\circ}50$.

Лучшей естественной землей для возведения земляных плотин является лёсс; за ним следуют песчано-глинистые грунты при содержании крупного песку $\sim 65\%$ и глины $\sim 35\%$ с добавлением к ним гидравлической извести или цемента около 7—10 пуд. на 1 куб. саж. насыпи.

Песчано-глинистые грунты с меньшим содержанием песку или содержащие мелкий, пылеобразный песок, непригодны для возведения плотин даже средней высоты.

При отсутствии естественного грунта надлежащего состава приготавливают искусственную смесь, получаемую мятьем глины и крупного песку в упомянутой пропорции.

Указанные условия недостаточны для получения плотины надлежащей прочности.

Необходимо соблюсти дополнительные требования, относящиеся к производству работ.

На подготовленном основании насыпь должна производиться в теплую сухую погоду слоями $\sim 0^m15$ (6") с раздавливанием каждого слоя катками, с увлажнением слоя и поливкой его жидким гидравлическим раствором при недостаточной влажности слоя или, наоборот, с посыпкой сухим порошком цемента, или гидравлической извести при достаточной или избыточной влажности слоя.

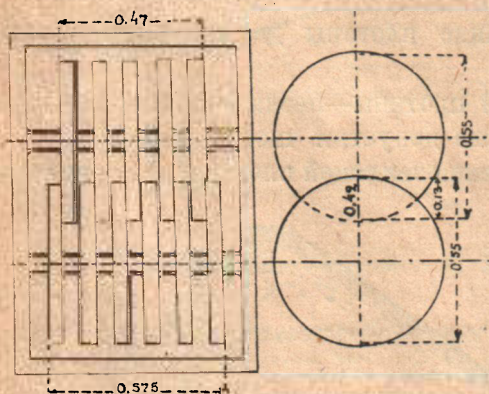
Затем слой укатывается рубчатymi катками весом около 100 пудов (см. черт. № 11).

Утрамбовка в ручную может иметь место лишь в сопряжениях земли с каменными или деревянными частями сооружения (водосливы и водоспуски).

Насыпь, естественно, надо вести на большую ширину против проектной с тем, чтобы срезав под профиль по укатке слоев, можно

было получить плотину не только требуемого профиля, но и требуемой равномерной плотности.

Грунт, идущий в насыпь, должен быть рыхлый, не кусковатый и должен доставляться в насыпь небольшими массами, что объясняется необходимостью произвести тщательную укатку и утрамбовку насыпи.



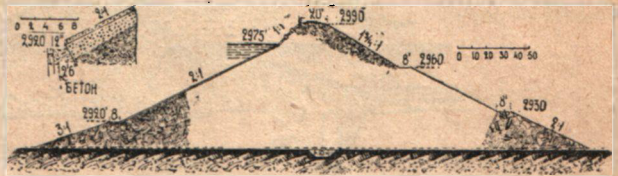
Черт. 11.

Плотины, описанного типа, распространены в Индии, где до сих пор встречаются солидные сооружения этого рода, выстроенные сотни лет назад. Материал тела плотин—лесс. Во Франции также имеется ряд плотин указанного типа.

В настоящее время тип № 1 имеет сторонников в лице виднейших практиков-инженеров всего света, полагающих, что при надлежащем выполнении описанных условий тип плотины из однородной насыпи является лучшим из всех типов земляных плотин,

Примеры плотин 1-го типа.

Пример № 1.—Belle Fourche Dam, South Dakota (черт. № 12). Неукрепленная часть напорного откоса имеет уклон 1:3, укрепленная бетонной одеждой из плит $5'' \times 7'' \times 8''$, уложенных по слою гравия и гальки толщиной 24", имеет уклон 1:2, и часть откоса выше горизонта воды имеет 1:1. Ширина поверху 20', превышение гребня плотины над напорным горизонтом 15', высота плотины — 90'. Гребень плотины укреплен по тому же способу, что и верхняя часть откоса и снабжен парапетами для защиты от всплесков волны.

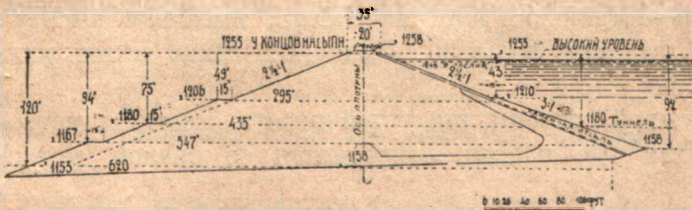


Черт. 12.

Пологость наружного откоса увеличивается от гребня к подошве плотины. На пути имеются 2 бермы по 8' шириной.

Такое устройство наружного откоса является иллюстрацией соображений, изложенных выше (черт. № 5 и текст).

Пример № 2. Плотина Tabeaud, Калифорния, черт. № 13. Высота плотины 120' (от оси подошвы до гребня), напор 92', ширина поверху 20'.



Черт. 13.

Оба откоса имеют уклон 1:2½, но напорный откос укреплен снизу каменной отсыпью с уклоном ее внешнего откоса 1:3.

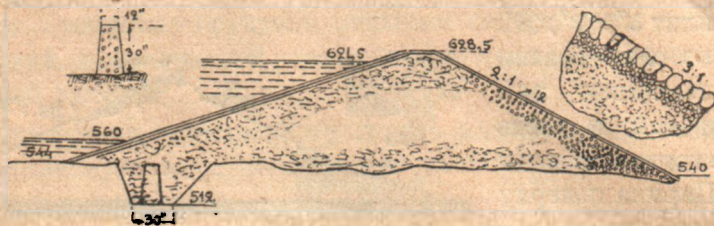
Каменная наброска защищает водонепроницаемый глинисто-гравелистый грунт с галькой, который идет от замка по подошве, затем выше, чем до середины внешнего откоса. Основание плотины—шиферная коренная порода, отличающаяся с верховой стороны трещиноватостью.

В виду незначительной глубины от поверхности грунта до скалы решено не устраивать замок посредине, а придать отделку водонепроницаемым грунтам, как это только что описано.

Укатка слоев дамбы производилась весьма тщательно, показателем чего служит уплотнение земли в плотине по отношению к материалу, доставленному в вагонетках, равное 43% и к местному материалу, взятому из шурфа—16%. При производстве работ насыпь плотины дренировалась продольной дренажной и поперечными. Подробное описание устройства плотины см. в „Engineering News“ 10 июля 1902 г., а также Бассель—земляные плотины стр. 36.

Пример № 3. Черт. № 14 изображает Cold Springs Dam, Oregon.

Эта плотина является некоторым отклонением от типа № 1, но отклонением незначительным.



Черт. 14.

С напорной стороны имеем замок в 32' глубиной, который применяется и в типе № 1, но здесь в замке устроена каменная диафрагма, сопрягающая плотину со скалой и остающаяся ниже поверхности грунта.

Водонепроницаемый грунт расположен главным образом от центра профиля к внутреннему откосу, а к наружному откосу помещены галечные грунты, что сообщает откосу устойчивость.

Укрепление внутреннего откоса показано на чертеже.

В заключение укажем, что имеются случаи благополучного применения чистого песка для устройства плотин 1-го типа.

Пример—Индийская плотина Kalegh, имеющая высоту 50', ширину поверху 20', глубину воды 30'. Напорный откос имеет уклон 1:4 наружный—1:3.

С наружной стороны для устойчивости плотины устроена каменная отсыпь, а там где насыпь сопрягается со скалой, устроена каменная диафрагма.

§ 2. Земляные плотины с ядром из водонепроницаемого грунта.

Имеется много плотин, тело коих состоит из плотного ядра, из мятой с песком глины или другого водупорного грунта, окруженного плотно утрамбованными насыпями из рыхлой грохоченной земли (английский тип).

Ядро по всей длине плотины врезается в грунт по возможности до водонепроницаемого грунта и возвышается или до верха плотины или кончается немного выше подпорного горизонта.

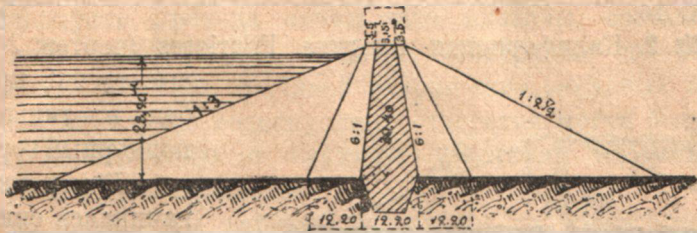
Ядру придают нередко толщину несколько большую $\frac{h}{3}$, где h —высота плотины, с крутыми откосами до 6:1.

Насыпь с напорной стороны предохраняет ядро плотины от разжижения, а с противоположной стороны — от высыхания.

К проектному профилю плотина приводится присыпкой какого-либо неплывучего грунта с плотной утрамбовкой его, при чем откосы получают обычно уклоны 1:3 на воду и 1:2½ наружу.

Присыпки имеют целью придать плотине устойчивость (см. черт. № 15).

Замок ядра должен иметь клинообразную форму, а не прямоугольную по причинам изложенным выше.



Черт. 15.

Все остальные соображения для данного типа являются, теми же, что для первого типа и прочих (ширина поверху, превышение гребня плотины над горизонтом воды и пр. и пр., укрепление откосов и проч.).

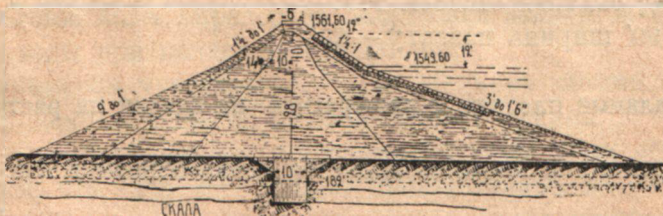
Описанный тип плотины имеет одно громадное преимущество перед первым типом: он значительно дешевле. Зато практика показала, что второй тип плотины менее надежен, нежели первый.

В случае пересыхания ядро может потрескаться, чем будет положено начало разрушению сооружения.

Грызуны также могут повредить ядро, невзирая на принятые меры, как посыпка слоев насыпи золой, гидравлической известью и проч. Так как в данном типе сохранность плотины обеспечивает, главным образом, ядро, а не весь профиль, как это мы имеем в первом случае, и так как ядро, в силу указанных причин, может быть повреждено, то особенно надежным рассматриваемый тип плотины считаться не может, особенно для плотин значительной высоты.

Поэтому чаще устраивают ядро из каменной кладки, о чем будет речь в следующем §.

Приведем примеры существующих плотин второго типа.



Черт. 16.

Пример № 1. Плотина Ashti (Индия), имеющая 38' высоты, 6' шириной поверху при глубине воды 24' (см. черт. № 16).

Центральная часть профиля плотины состоит из отборной черной ~~земли~~ (водонепроницаемый грунт), тщательно уплотненной и является ~~ядром~~ плотины.

Замок плотины сделан из земляного бетона, уложенного 4-х дюймовыми слоями, которые по смачивании и укатке превращались в 3-х дюймовые *).

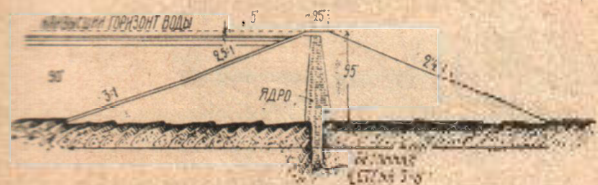
Верх замка поднят на 1' над поверхностью грунта, чтобы образовать водонепроницаемое соединение с телом плотины. Остальные детали ясны из чертежа № 16.

Пример № 2. Калифорнская плотина Pilarictos (чертеж № 17) имеет

высоту 95', при чем гребень плотины превышает подпорный горизонт на 5'.

Внутренний откос, начинаясь снизу уклоном 1:3, поднимается далее с уклоном 1:2 $\frac{1}{2}$.

Наружный откос имеет уклон 1:2 $\frac{1}{2}$.



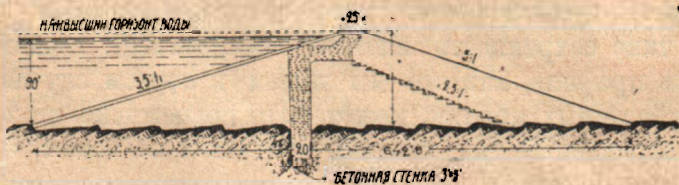
Черт. 17.

Ядро из земляного бетона проникает на 46' ниже поверхности обнаженного основания и опирается на небольшую бетонную стенку сечением 3'- \times -6'.

Ширина ядра 10', понизу 30'.

Верх ядра несколько выше подпорного горизонта воды.

Пример № 3. Калифорнская плотина San Andres (черт. № 18) того же самого типа.



Черт. 18.

Искривление ядра вызвано повышением плотины, после чего наружный откос 1:2 $\frac{1}{2}$ заменен откосом 1:3.

Подпор — 90' ширина поверху — 25'.

§ 3. Земляные плотины с диафрагмой из кладки на растворе.

Этот тип земляной плотины является излюбленным в Америке, Индии и Европе.

*) Земляной бетон или набивка представляет собой песчаноглинистую смесь, увлажненную и тщательно перемешанную, обладающую консистенцией известкового раствора.

Часто в качестве земляного бетона применяют смесь из трех частей земли и двух частей песка.

Основанием для каменной диафрагмы при этом служит всегда прочная скала однородного строения.

Диафрагма должна иметь надежное сопряжение со скалой по всей длине плотины, включая береговые ее части во избежание промыва тела плотины фильтрующей водой.

Громадное преимущество каменной диафрагмы плотины состоит в том, что при этом достигается хорошее сопряжение глухого участка плотины с водосливным и водоспускным.

Эти водоспуски, проходя сквозь тело плотины, составляют одно из слабейших мест конструкции, вызывая фильтрацию по своей внешней поверхности, что является причиной разрушения земляных плотин.

В данном же случае водоспускные отверстия могут быть связаны нацело в одну конструкцию с глухими участками плотины, чем будет устранена упомянутая опасность.

Толщина диафрагмы берется небольшая во избежание удорожения конструкции, однако достаточная для того, чтобы диафрагма могла оставаться прочной при усадке плотины. Обычно берут поверху 4'—5' с уклоном 10:1 вниз (почти отвесные откосы).

Диафрагма должна быть выполнена из бетона лучшего качества.

Во избежание движения воды вдоль боковой поверхности диафрагмы, устраивается по длине последней отсыпь из водонепроницаемого грунта, расположенная с напорной стороны и прерываемая бетонными выступами ядра, совершенно того же бокового вида, что и отсыпь.

Иногда диафрагма делается железобетонной, в горизонтальном разрезе волнообразная для увеличения момента сопротивления, а также для создания большего сопротивления для воды, перемещающейся по боковой поверхности диафрагмы.

Каменное ядро не имеет поперечных размеров, позволяющих ему называться подпорной стенкой. Это и понятно; в противном случае плотина превратилась бы в каменную, излишне обсыпанную с обеих сторон землей. Следовательно, значение ядра заключается в образовании водонепроницаемой диафрагмы.

Но, как показали исследования, абсолютная водонепроницаемость ядра все же не имеет места.

Так, потеря напора, благодаря ядру из каменной кладки, для плотины New Croton была определена комиссией экспертов в 21' или в 17% от глубины воды при полном водохранилище.

Этим примером указывается, в какой мере можно рассчитывать на водонепроницаемость ядра из лучшей бутовой кладки.

Вследствие изложенного, сторонники первого типа земляных плотин подчеркивают, что ядро не окушает произведенных на него затрат, и что оно является скорее элементом ослабления конструкции, чем прочности, ибо нарушает однородность тела плотины.

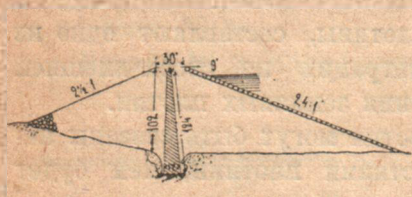
Можно полагать, что применение в качестве материала для устройства ядра бетона хорошего качества с цементной штукатуркой с напорной стороны значительно улучшит конструкцию в смысле водонепроницаемости.

Приведем примеры плотин рассмотренного типа.

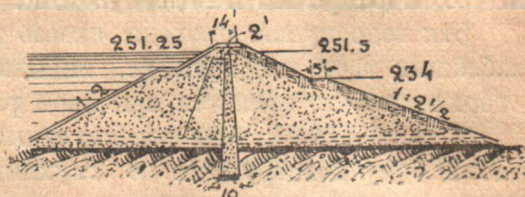
Пример № 1. Titicus dam (Нью-Йорк), черт. № 19.

Типичным примером применения центральной каменной диафрагмы в земляных плотинах является Titicus dam.

Диафрагма возведена на скале, имеет внизу толщину 17', поверху — 5' при высоте 124'.



Черт. 19.

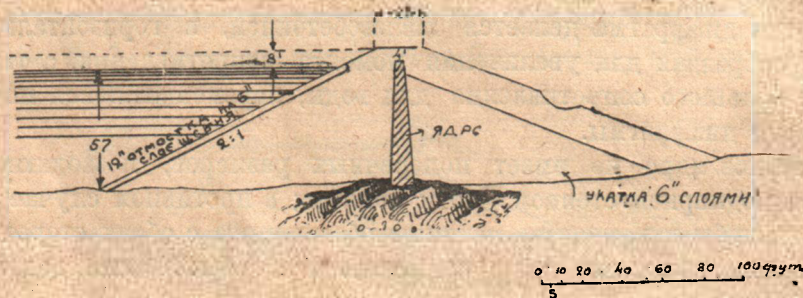


Черт. 20.

Ширина по верху плотины — 30'.

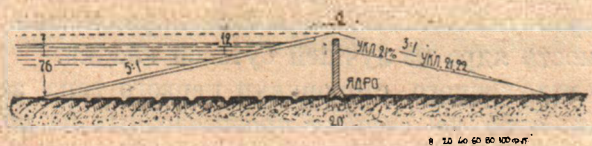
Напорный откос укреплен мощением из камня толщиной 12" и имеет уклон 1:2,4; внешний откос имеет уклон 1:2,5.

Пример № 2. Boston dam является примером устройства по длине диафрагмы отсыпи из водонепроницаемого грунта, затрудняющей фильтрацию воды через диафрагму (черт. № 20) и движения воды по ее поверхности.



Черт. 21.

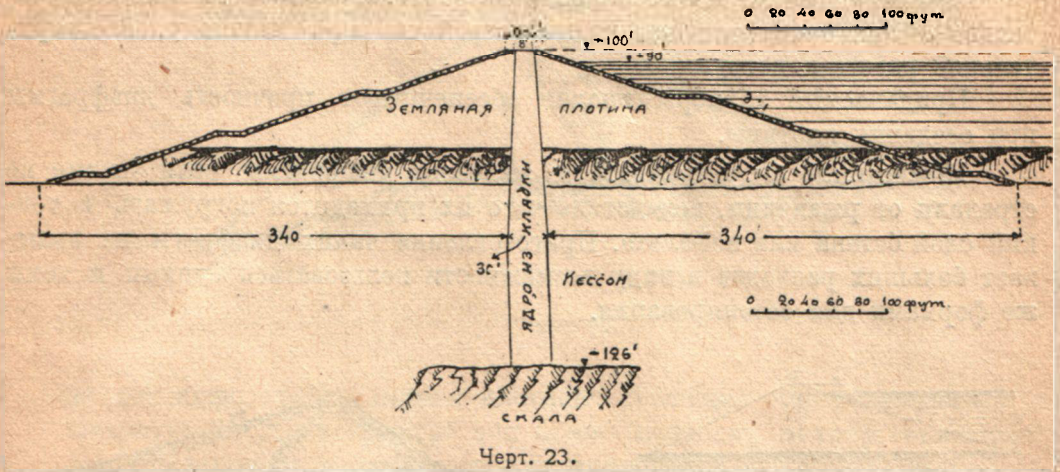
Примеры № 3 и № 4 — изображают поперечные сечения двух плотин долины Croton (черт. №№ 21 и 22).



Черт. 22.

Пример № 5 (черт. № 23) изображает проект комиссии по постройке Панамского канала, сделанный для Bohio. Чертеж указывает на стремление устроить совершенно водонепроницаемое преграждение долины.

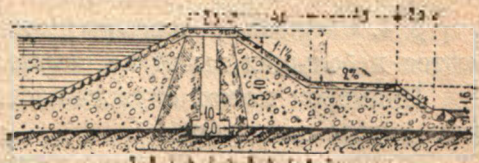
Диафрагма доходит до скалы. Было предположено произвести работы по опусканию фундамента диафрагмы при помощи кессонов. Одежда откосов намечалась из крупных камней.



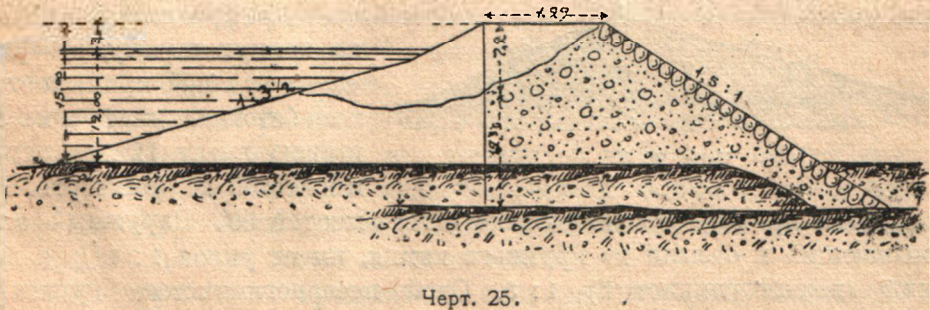
Пример № 6 (черт. № 24) изображает сечение плотины с железобетонным ядром, обложенным с обеих сторон водоупорным грунтом.

Конструкция указывает на чрезмерную осторожность проектировавшего, ибо при столь небольшом напоре не было нужды создавать столь сильный профиль.

Пример № 7. На черт. № 25 показан профиль Авалонской плотины (Carlsbad, Neu Mexico).



Железный шпунтовый ряд $\delta = 12 \text{ m/m}$ $\leftarrow \begin{matrix} > 30 \text{ см.} < \end{matrix}$ сечения надстроен на высоту $7,20$ железобетонной диафрагмой толщиной 30 см. внизу и 20 см. вверху. Все вместе дает одну диафрагму, доведенную до скалы на глубину $4,50$ ниже естественной поверхности грунта.



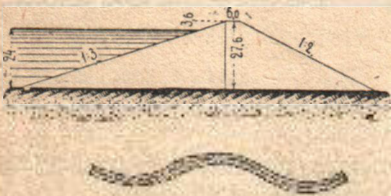
Результаты применения железобетонных диафрагм вполне удовлетворительны.

Пример № 8. На черт. № 26 изображен профиль плотины в Порторико. Здесь диафрагма также доведена до скалы, устроена из железобетона, толщина диафрагмы 15 см. Сечение диафрагмы волнообразное.

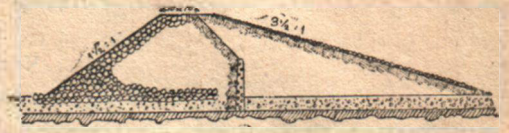
Применением железобетонных диафрагм небольшой толщины значительно сокращаются расходы на их устройство при вполне удовлетворительной работе конструкции.

Придаваемые размеры вполне обеспечивают прочность диафрагмы при оседании плотины.

Можно было бы устраивать и железные диафрагмы, если бы они не страдали от ржавчины, вследствие чего их приходится погружать в тонкий слой бетона или асфальта. Приготовление таких диафрагм не вызывает больших расходов в виду возможности пользоваться одними и теми же формами для бетонирования.



Черт. 26.



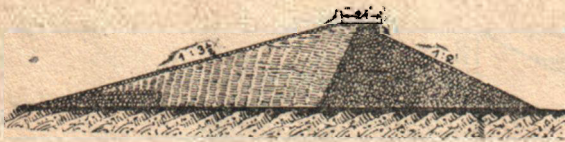
Черт. 27.

§ 4. Смешанные плотины (земляные с каменной наброской) устраиваются небольших высот не свыше 60'.

Примером может служить плотина Ресос черт. № 27. Размеры плотины видны из чертежа.

В 1893 году эта плотина разрушилась на полную высоту на протяжении 300' вследствие недостаточной пропускной способности имевшихся водосливов. Плотина была перестроена и снабжена дополнительным водосливом.

В 1904 г. паводок снова разрушил плотину и в 1905 г. плотина снова восстановлена по прежнему профилю, но с увеличением пропускной способности водосливов. Кроме того, была устроена бетонная диафрагма, основанная на скале.

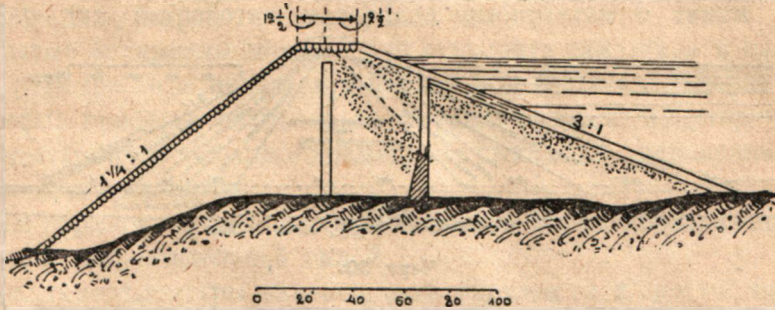


Черт. 28.

Диафрагма возведена не на полную высоту; в верхней части ее к ней примыкает железобетонная диафрагма толщиной внизу 12", вверху—8" и высотой 24' (см. черт. № 28).

Другой пример—плотина Snake River высотой 86'. Наружный откос, примыкающий к отсыпи из крупного камня, имеет уклон 1: 1 1/4, а внутренний (песчаноглинистый) 1: 3. Слой песчаноглинистого грунта по внутреннему откосу примыкает к галечно-гравелистому заполнению между ядром и откосом. Гребень плотины поднимается на 8' выше самого высокого горизонта воды и имеет 25" ширины (черт. № 29).

Водослив—каменный, хорошо связанный с каменной диафрагмой, имеет ширину понизу 13' и максимальную высоту 14'. Гребень водослива



Черт. 29.

на 10' ниже гребня порога плотины. Толщина переливающегося слоя maximum 4'. Рассмотренный тип близко подходит к типу, описанному в § 6, где выясним подробно условия применения.

§ 5. Гидравлические плотины.

С недавнего времени в Америке получил чрезвычайное развитие особый тип плотины, так-называемый, намывная плотина (Hydraulic-fill dam).

Плотина этого типа возводится действием воды, для чего вода доставляется обычно под большим напором к грунту, подлежащему разрыхлению, размывает и переносит его при помощи желобов, труб или каналов к месту плотины, где грунт отлагается и настолько уплотняется, что такого уплотнения не достигнуть даже укаткой тяжелыми катками.

По исследованиям инж. Моргана, состав средней части профиля выстроенных плотин почти тождествен с таковым же для синих глин в естественных отложениях, отличаясь чрезвычайной плотностью. Последнее обстоятельство имеет громадное значение.

В самом деле, не рискуя идти в практике к осуществлению насыпных плотин выше 100', при наличии указанного обстоятельства, по мнению крупных американских инженеров, намывные плотины возможно устраивать до 300' высотой и даже выше, лишь бы ширина по основанию была достаточна по условиям фильтрации и устойчивости.

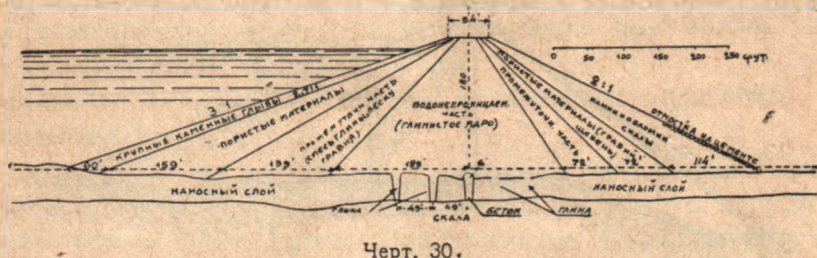
Что касается стоимости намывных плотин, то она при дорогой рабочей силе, вообще говоря, меньше стоимости плотин насыпных.

Необходимо добавить, что устройство намывных плотин явно предпочтительно лишь в случае каньонообразного тальвега, когда располагаем хорошими уклонами для подачи материалов, идущих на возведение плотины, и близостью их от места плотины.

На черт. № 30 представлен типичный профиль намывной плотины большой высоты.

Среднюю часть профиля занимает водонепроницаемое глинистое ядро; по обоим сторонам последнего отсыпи из полупроницаемого материала

(смесь гравия, песку, гальки и глины); далее—пористые материалы (гравий с крупной галькой, каменная отсыпь), прикрытые с внешней стороны крупными камнями и глыбами скалы.

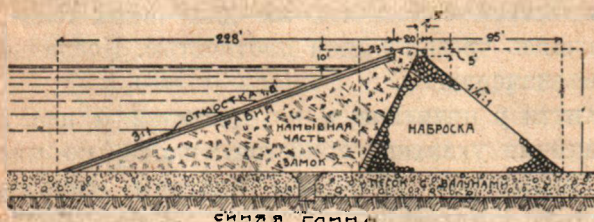


Средняя часть дает лучшее обеспечение против фильтрации воды через плотину.

Полупроницаемая часть служит фильтром для воды, которая все же может просочиться из водохранилища, и предупреждает, таким образом, вымывание глины из ядра.

Третья часть облегчает дальнейший дренаж для фильтрационной воды, и последняя часть, состоящая из крупных камней, обеспечивает устойчивость наружного откоса.

Теперь о частях профиля, составляющих внутреннюю к воде половину профиля. Часть, уложенная по откосу, способствует его устойчивости, а две другие—с одной стороны способствуют дренажу при постройке, а с другой—предохраняют ядро от вымывания при колебании горизонта воды в водохранилище и при волнении. При постройке плотины небольшой высоты можно ограничиться тремя частями: средней, полупроницаемой и пористой, не применяя отсыпей из крупных камней.



Черт. 31.

Встречаются и смешанные типы намывных плотин, когда пористая часть профиля и каменная наброска уложены на месте обычным способом (не гидравлическим путем), а непроницаемая часть—намывная. Это происходит в виду невоз-

можности в данных местных условиях доставить все материалы гидравлическим способом.

Пример—плотина на р. Zuni (New Mexico) (см. черт. № 31). Верхняя (напорная) часть построена намывным путем, нижняя—является обычной каменной наброской.

В случаях, когда по местным условиям состав средней части профиля плотины не может быть получен при желательном соотношении различных составляющих, прибегают к устройству центральной диафрагмы и в гидравлических плотинах. Получаем при этом также смешанный тип.

Краткие сведения о производстве работ по устройству намывных плотин.

Карьер для разработки материала выбирается с таким расчетом, чтобы добытые материалы можно было отправить самотеком в насыпь.

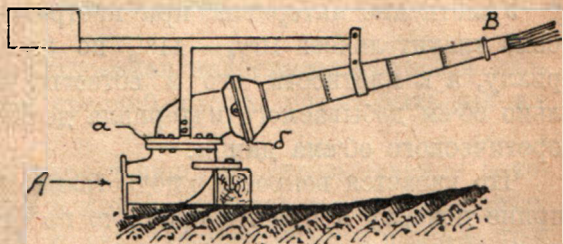
Для размыва вода подается в карьер под большим напором и поступает в особые приборы, называемые гидравлическими мониторами, имеющими входную часть большого диаметра, а выходную—наконечник—значительно меньшего диаметра.

Таким образом, из наконечника вылетает струя, обладающая весьма значительной разрушительной силой.

В практике диаметры наконечников берутся от 2" до 10" при напоре от 3 Atm до 18 Atm при скорости вылетающей струи до 200' в секунду (см. черт. № 32).

Вода разрушает не только землистые породы грунтов, но и скалистые, подбрасывая глыбы весом в несколько тонн.

Образовавшаяся полужидкая масса стекает к особым приемникам, откуда при помощи желобов, труб или каналов разводится к месту укладки ее. Желоба применяются при наличии



Черт. 32.

сплошного однообразного уклона от приемника до дамбы.

В случае пересеченной местности не обойтись без применения эстакад для желобов, а при больших вызываемых при этом расходах приходится прибегать к напорным трубам диаметра до 18" и даже 20" и 24".

Уклон для желобов берется от 2‰ до 10‰.

Желоба делаются деревянные прямоугольного сечения, обитые внутри листовым железом, или железные полукруглого сечения.

Средние размеры сечения желоба—18" × 18".

Трубы, как выше было указано, применяются в случае пересеченной местности.

При этом, естественно, затрудняется перенесение обломков скалы и глыб, требующих предварительного размельчения. Трубы устраиваются из клепаного железа и из досок, стянутых железными обручами и изнашиваются гораздо быстрее желобов.

Гораздо более ограничена область применения каналов для доставки материалов к месту работ.

Должны быть особенно благоприятные топографические условия, когда не понадобились бы при этом эстакады, перепады и др. искусственные сооружения.

Естественно, доставка каналами крупных камней невозможна, ибо понадобились бы скорости, коих не выдержало бы русло.

При распределении поступающего материала по плотине необходимо иметь в виду, что средняя часть профиля насыпи требует мельчайших частиц грунта.

При содержании от 10% до 30% глины в общей массе поступающих материалов получают наилучшие результаты.

Большой % глины нежелателен, ибо затрудняется дренаж и твердение материала, откосы становятся неустойчивы, дамба дает осадку, при чем образуются трещины.

При обычных условиях дренаж дамбы происходит во время самой постройки, при чем дренирование средней, глинистой части дамбы происходит от давления полупроницаемой и пористой части.

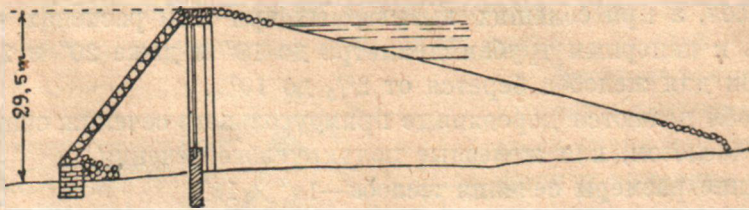
Местом стока служит нижний бьеф. С верховой стороны по мере возведения плотины надо поднимать горизонт образующегося водохранилища. Благодаря этому при самой постройке происходит испытание ее прочности.

Уплотнение материала при постройке намывных плотин происходит весьма значительное: 10% — 11% по отношению не к разрыхленному материалу, а к плотности его в естественном состоянии карьера. Следовательно объем добываемого материала должен быть увеличен на 15% против теоретического объема дамбы.

Что касается вопросов о подготовке основания, отделки откосов дамбы, ширине поверху и проч. и проч., то по отношению к намывной плотине остаются в силе все те соображения, что изложены при описании устройства насыпных плотин.

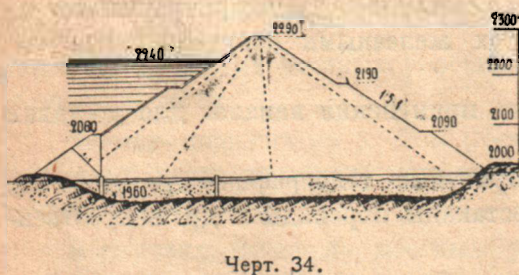
Приведем примеры намывных плотин.

Пример № 1. Чертеж № 33 изображает профиль намывной плотины смешанного типа.



Черт. 33.

Напорная часть профиля гидравлического заполнения, а наружная — из каменной наброски.



Черт. 34.

Диафрагма имеет бетонный цоколь и деревянный верх. Высота плотины 29,550, ширина поверху — 7,550.

1 куб. метр гидравлического заполнения в деле обошелся в 0,65 марок (герман.).

Пример № 2. На черт. № 34 представлен проект профиля Японской намывной плотины.

Высота плотины 290', превышение гребня плотины над подпорным горизонтом — 50', откосы — полуторные.

Напорный откос снизу обделан досчатым покрытием, в средней части — асфальтовым, в верхней — каменным мощением. Оба откоса снабжены бермами.

Насыпь намывной плотины сопрягается со скалистым основанием двумя бетонными замками, пересекающими на пути слой гравия.

Верхний замок служит основанием для железо-бетонной диафрагмы, поднимающейся на 30 метров вплоть до пересечения с откосом плотины (см. черт. № 34).

Составные части профиля показаны на чертеже.

Проект составлен американским инженером Howells, главн. инженер Англо-Японского Общества по Устройству Гидроэлектрических станций.

§ 6. Плотины из каменной наброски.

Хорошо сконструированная и устроенная надлежащим образом плотина из каменной наброски малой и средней высоты может быть так же прочна, как и каменная плотина.

Этот тип плотины может быть устроен лишь на неразмываемом основании (прочная скала, твердая глина и друг.). Профиль состоит из каменной наброски, тщательно уложенной с заполнением мелким камнем промежутков между крупными камнями для того, чтобы при усадке плотность наброски была небольшая. Особенное внимание должно быть обращено на облицовку напорного откоса, где необходимо тщательно заполнять мелочью швы между облицовочными камнями. В целях достижения большей водонепроницаемости устраивают обделку напорного откоса просмоленными деревянными щитами, земляной отсыпью или применяют железо-бетонные диафрагмы.

Ни в коем случае нельзя допускать переливания воды чрез гребень плотины, ибо это может разрушить ее.

Одно из больших преимуществ плотины из каменной наброски состоит в том, что она может быть выстроена на реке с самыми небольшими затруднениями.

Другое преимущество состоит в том, что фильтрация не опасна для сооружения, ибо оно допускает ее без вреда для прочности. С течением времени плотина из каменной наброски становится все прочнее и прочнее, ибо пустоты затягиваются наносами, которые содержит протекающая вода.

Естественно, недопустимо устройство плотины из каменной наброски там, где вода дорога, ибо много воды будет потеряно путем фильтрации чрез тело плотины.

Как указано было выше, основанием плотины из каменной наброски может служить лишь неразрываемый материк, вследствие чего необходимо предварительное удаление размываемого слоя, покрывающего материк.

Возведение плотины происходит слоями, как и в случае земляной плотины.

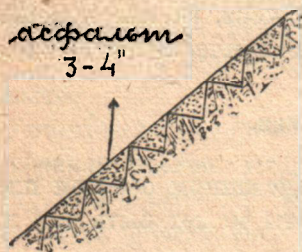
Лучший профиль получим при напорном откосе 1:3 и наружном — 1:1.

Более крутые уклоны небезопасны.

При желании достигнуть большей водонепроницаемости применяют двухрядное асфальтовое покрытие напорного откоса с постановкой на первый снизу ряд железных скоб, прикрепленных к анкерам, заделанным в наброску.

Толщина асфальтового слоя — 2".

Еще более надежный способ состоит в ступенчатой обделке внутреннего откоса и дальнейшей заливке его асфальтом с выравниванием поверхности откоса под прямую требуемого уклона. (черт. № 35).



Черт. 35.

Асфальт кипятят в течение 12 часов при температуре свыше 150° с частым перемешиванием. Смесь для заливки откоса плотины готовят из 20% по весу асфальта и 80% песку, предварительно нагретого до той же температуры.

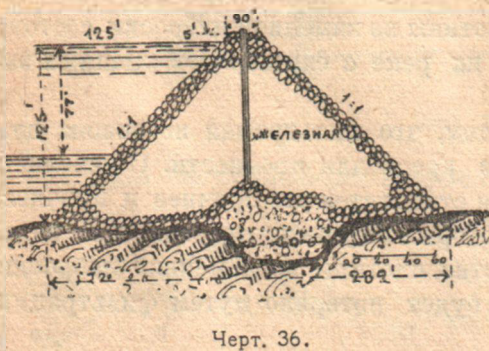
Сверху заливку покрывают слоем чистого асфальта толщиной $\frac{1''}{8}$ — $\frac{1''}{4}$. Асфальтовое по-

крытие имеет большое преимущество в силу своей эластичности, не разрушаясь при неравномерной осадке плотины.

По той же причине асфальтовое покрытие применяется также для укрепления откосов земляных плотин.

Таким образом в известной мере водонепроницаемую конструкцию можно придать рассматриваемому типу плотины лишь при работе насухо по устройству откосов плотины.

Одна из первых выстроенных плотин этого типа — Калифорнская плотина Otay (черт. № 36).



Черт. 36.

Место, избранное под плотину было вполне пригодно для устройства каменной плотины.

Но вследствие высоких фрахтов на перевозку материалов, уже во время производства работ решено было отдать предпочтение плотине из каменной наброски, в то время, когда кладка фундамента была уже возведена на толщину 40' при ширине 65'.

Эта же кладка послужила основанием для металлической диафрагмы, возведенной до самого гребня плотины.

Толщина диафрагмы $\frac{1''}{4}$ вверху и 0,33" — внизу.

Диафрагма обмазана асфальтом и заключена в слой бетона толщиной 2'.

Особенность конструкции плотины Отау заключается в том, что наброска произведена путем ссыпки камня из вагонеток без всякого применения ручной работы при укладке. Ширина по верху плотины—12', уклон откосов плотины—1:1.

Эта плотина впоследствии разрушилась.

За отсутствием исчерпывающих сведений о причинах разрушения, можно только высказать предположения о причине разрушения.

К таким можно отнести излишнюю смелость конструкции: плотина столь значительной высоты в 125' возведена из каменной наброски и даже без всякой тщательности укладки камня при крутых откосах.

Кроме того, можно предполагать недостаточную пропускную способность водослива, что могло только ускорить разрушение плотины.

§ 7. Ошибки в проектировании и возведении плотин земляных и из каменной наброски и разрушение плотин.

До сего времени нередко происходили разрушения земляных плотин вследствие ошибок, допущенных при проектировании, а также при производстве работ.

Ни один из этих случаев не поколебал, однако, взгляда инженеров на пригодность земли, как материала для устройства плотин.

Наоборот, существует мнение, что при наличии материалов и основания надлежащего качества, земляная плотина является наиболее целесообразной.

При существующих размерах профиля земляная плотина всегда вполне удовлетворяет статическим условиям равновесия, и разрушение происходит от небрежности производства работ и неправильной конструкции, порождающих фильтрацию по внешней поверхности водоспусков, проходящих через тело плотины, или вследствие затопления водой гребня водослива при недостаточной пропускной способности последнего.

Рационально устроенные даже и на водопроницаемом грунте земляные плотины благополучно существуют. Пример—плотины, выстроенные свыше 33-х лет тому назад для водоснабжения Сан-Франциско.

Основание одной из них—водоносный гравий с галькой.

Глиняный замок опущен на 98' ниже поверхности тальвега и тем не менее не достигает водонепроницаемого материка.

Высота плотины—50' над поверхностью тальвега. По окончании постройки появились ключи, которые оказались безвредными в течении уже многих лет.

Плотина San Leandro имеет высоту 120' и покоится на водопроницаемом основании.

Этой плотине уже 28 лет несмотря на непрекращающуюся фильтрацию под плотиной и на склонах в обход корней плотины.

То же самое имеем в отношении небольшой земляной плотины, построенной для водоснабжения Los Angeles (Калифорния); сильная фильтрация не прекращается при полной сохранности плотины.

Земляные плотины—одни из самых древних сооружений в мире.

Некоторые из них, выстроенные несколько сот лет тому назад, существуют и поныне, с течением времени приобретая в прочности. Не взирая на возникновение различных типов земляных плотин, попрежнему необходимо считать самым надежным тип плотины из однородного грунта, уложенного со всеми вышеописанными предосторожностями. Этот взгляд остается непоколебленным. Предпочтение можно отдать лишь намывной плотине при наличии топографических и геологических условий, благоприятствующих ее применению.

Что касается плотин из каменной наброски, то многие из них благополучно существуют, а некоторые разрушились.

Причины разрушения различны.

Одна из главнейших причин—подвижное основание.

Для целостности рассматриваемой конструкции недостаточно обеспечить ее от переливания воды через плотину.

Требование водонепроницаемости вызывается лишь желанием сбережения большего количества воды в водохранилище; но если вода проходит сквозь плотину, последняя должна быть основана на прочном и неразмываемом грунте и иметь откосы надлежащего уклона, чтобы фильтрующая вода не произвела оседания и разрушения плотины.

Недостаточная пропускная способность водослива, вызывающая повышение воды до уровня гребня плотины и выше, почти обеспечивает разрушение ее.

§ 8. Водосливы и водоспуски земляных плотин.

Самою важною мерою предохранения земляной плотины от повреждений является своевременный выпуск излишних вод из водохранилища.

Выпуск воды при всяких обстоятельствах должен происходить при горизонте воды ниже верха плотины.

Предельным возможным повышением горизонта воды задаются заранее, с тем, чтобы никогда не превосходить его.

Самое рациональное расположение водослива—это вне тела плотины, в особом обходном канале. Указанное требование необходимо считать обязательным при возведении плотин средней и большой высоты, ибо, таким образом, устраняется полностью одна из частых причин разрушения земляных плотин (см. выше).

В отношении плотин малых высот допустимы отступления от приведенного правила при невозможности удовлетворить ему, но при этом необходимо обратить особое внимание на тщательность разработки конструкции сопряжения водослива с телом плотины.

В этом последнем случае, в целях предосторожности, водослив располагают около одного из концов плотины, где она имеет наименьшую высоту, чтобы легче было предохранить насыпь от размыва.

Дно и уклон обходного водосливного канала назначают с таким расчетом, чтобы он мог пропускать требующееся количество воды при отметке не превышающей заранее заданную.

Так как максимальное количество воды редко может быть определено совершенно точно, полезно располагать дно водосливного канала ниже нормального уровня водохранилища с применением с'емных затворов в русле канала, позволяющих регулировать пропускную способность водослива.

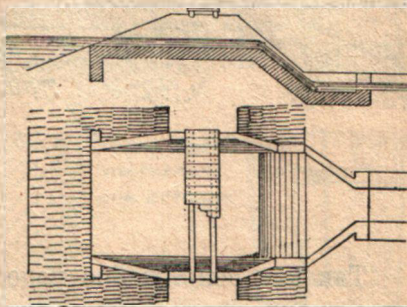
При незначительной высоте плотины и незначительных притоках воды водосливом может служить мощный лоток в гребне плотины и по ее наружному откосу.

Если же водослив предназначается для пропуска более значительного количества воды, то водосливный лоток делается каменный или деревянный (см. черт. № 37). Если водосливное русло обходного канала или водослива в конце дамбы имеет крутой уклон дна, то ему придают ступенчатый продольный профиль для погашения живой силы воды, падающей с уступов.

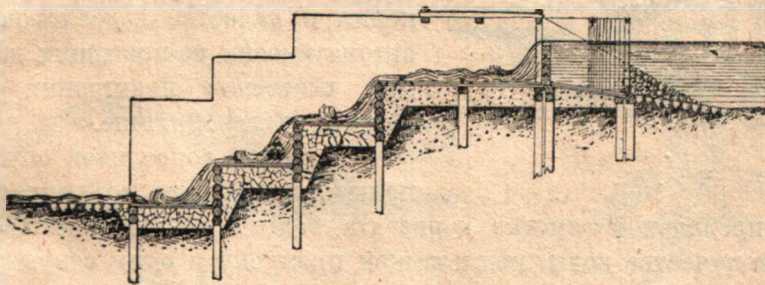
На черт. № 38 показан продольный разрез подобного водослива. Водослив огражден с боков ряжевými ящичками, основанными на сваях и загруженными землею.

Уступы срублены из бревен, а дно покрыто проконопаченным и просмоленным двойным досчатым настилом.

Под лагами произведена загрузка песчано-глинистым грунтом.

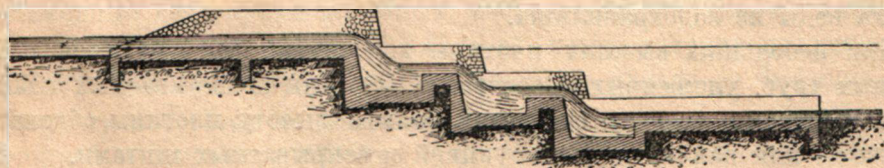


Черт. 37.



Черт. 38.

Для предохранения от фильтрации со стороны напора воды забито два параллельных шпунтовых досчатых ряда, которые проходят как под водосливным руслом, так и под ряжевými его стенками.

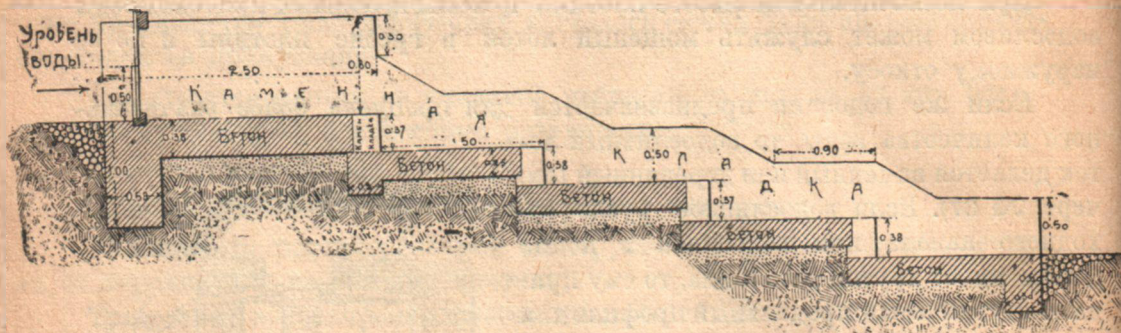


Черт. 39.

Другой пример—черт. № 39 изображает продольный разрез каменного ступенчатого водослива.

Конец каждой горизонтальной площадки снабжен вертикальной стенкой, вследствие чего под полом всегда находится слой воды, воспринимающий на себя и ослабляющий удары каскадов.

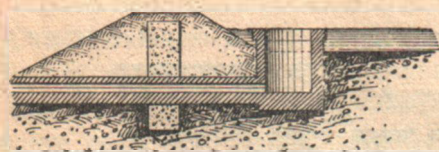
Чертеж № 40 изображает подобный же водослив, но без упомянутых вертикальных стенок.



Черт. 40.

Так как сопряжение водослива с телом плотины есть самое слабое место сооружения, то устраивают иногда водослив в виде колодца с отводной трубой под плотиной.

При этом в целях лучшего сопряжения трубы с телом плотины необходимо связать трубу с прилегающими к ней участками плотины путем заделки трубы в кладку, как показано на черт. 41.



Черт. 41.

Имеются в практике случаи применения в качестве водосливов сифонов, автоматически начинающих действовать при известном повышении горизонта воды в водохранилище.

Размеры водосливов определяются по известным формулам гидравлики при заданной предельной отметке горизонта воды в водохранилище и максимальном количестве воды, подлежащей пропуску в одну секунду.

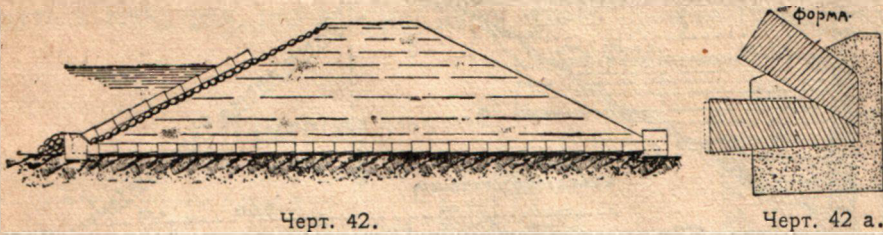
Расход через незатопленный водослив выражается, как известно, формулой $Q = mb \cdot H^{3/2} \sqrt{2g}$, где H — толщина переливающегося слоя, b — ширина водослива, m — коэффициент расхода $= \frac{2}{3} \alpha = \frac{2}{3}$ (0,70—0,80).

Водоспуски устраиваются для полезных попусков и для совершенного выпуска воды из водохранилища.

При небольших высотах плотины водоспуски устраиваются или из чугунных труб, уложенных в основании плотины и закрываемых клапанами и задвижками, или из отверстий во всю высоту плотины, обделанных деревянною или каменной конструкцией и закрываемых щитами.

При значительных высотах плотин водоспуски устраиваются в виде каменных труб с каменными же колодцами, имеющими несколько водоприемных отверстий, закрываемых щитами.

Простейший пример водоспуска для плотин незначительной высоты изображен на черт. №№ 42, 42а, и 42б.



Водоспуск представляет собою проходящую под плотиной трубу, составленную из конических бетонных звеньев и поднимающуюся по напорному откосу.

Сниманием и надеванием крайних звеньев можем регулировать запасы воды в водохранилище.

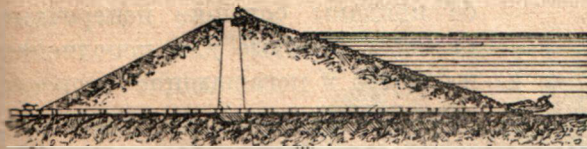
Описанное устройство часто применяется на Цейлоне.

Конструкция водоспуска в виде чугунной трубы с клапанным затвором изображена на чертежах №№ 43 и 43а.

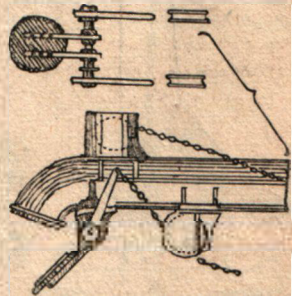


Черт. 42 б.

Если к той конструкции применить задвижный затвор, то приемный конец трубы можно поместить в особо устроенный колодец, сообщающийся



Черт. 43.



Черт. 43 а.

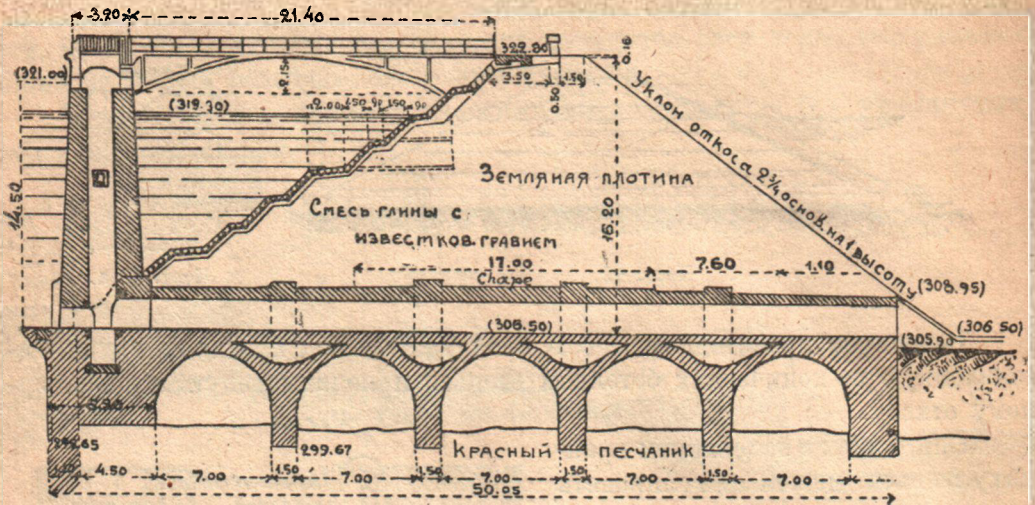
с верхом плотины посредством мостика, откуда происходит управление затвором (черт. №№ 44 и 44а).

Каменные водоспуски земляных плотин большой высоты имеют устройство, показанное на черт. №№ 45 — 47, изображающих водоспуск плотины Монтобрийского резервуара Центрального канала во Франции.

Водоспуск состоит из каменной сводчатой трубы сечением 1×2 метра, проходящей в основании плотины.

В центре профиля проходит вертикальный колодец, соединяющийся с низовой стороны с упомянутой трубой.

С верхней стороны в стене колодца устроены 3 отверстия из коих



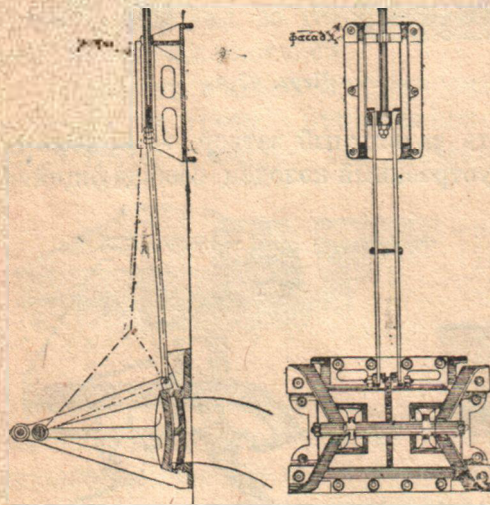
Черт. 44.

одно на 5,^м20 ниже нормального горизонта воды, другое на 10,^м20 и третье закрывает вход непосредственно в нижнюю трубу.

Отверстия ведут в водопроводы, снабженные с верхней стороны деревянной рамой сечения в свету 0,60×0,30, закрываемой щитом, приводимым в движение с верхней платформы (см. чертеж № 45).

Каменным водопроводам и трубе приданы большие поперечные размеры, удобные для исполнения и осмотра и погашающие скорость воды, поступающей из малых щитовых отверстий,

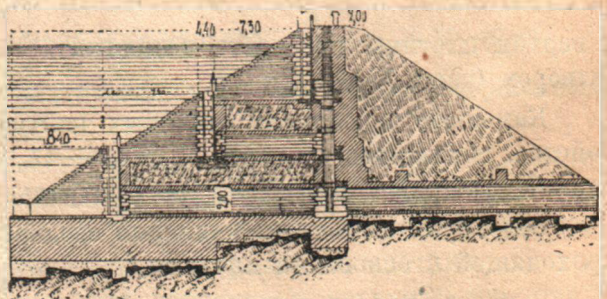
Поочередно открывая отверстия, можно последовательно выпу-



Черт. 44 а.

скасть из водохранилища слой воды высотой в 5 метров.

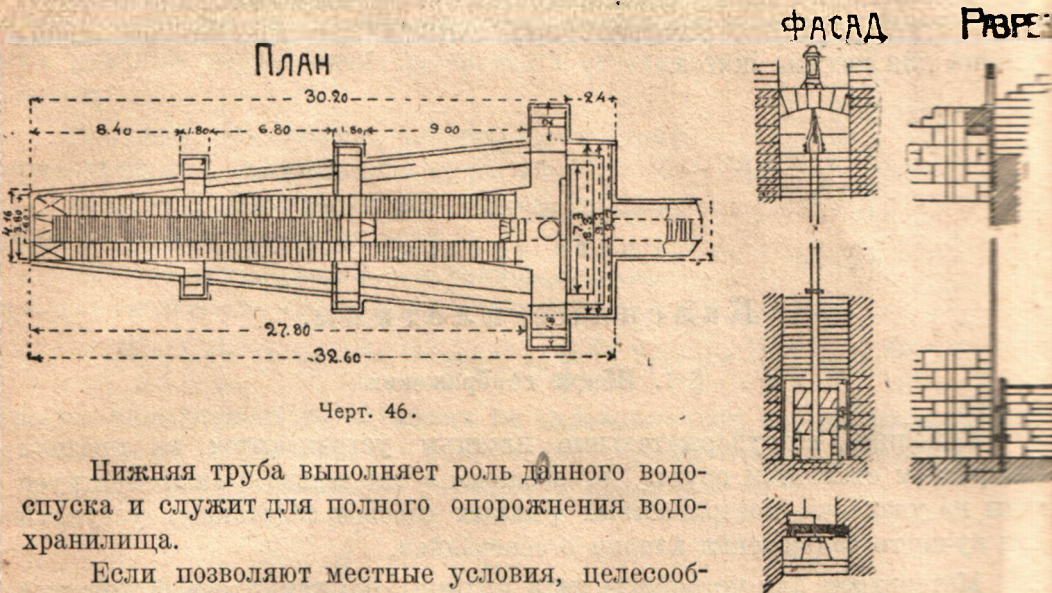
Благодаря указанному устройству можно делать более равномерные пуски, умерять скорость течения воды, опасную для прочности водопроводов и облегчать действие и управление щитовыми затворами пре-



Черт. 45.

одолевающая всякий раз одно и то же усилие, а не возрастающее в зависимости от напора.

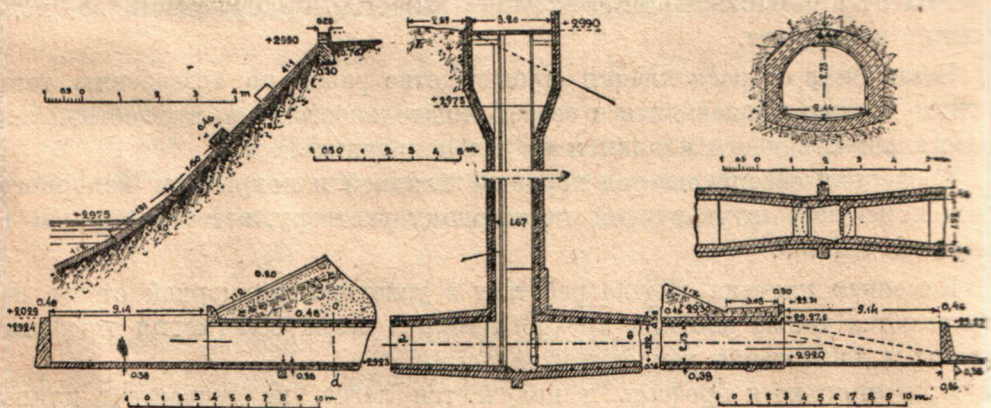
В случае необходимости ремонтировать щитовые затворы можно прибегнуть к шандорам, под защитой коих можно произвести исправления.



Черт. 46.

Нижняя труба выполняет роль донного водоспуска и служит для полного опорожнения водохранилища.

Если позволяют местные условия, целесообразнее располагать водопроводы, помещенные на разных горизонтах, в различных пунктах по длине плотины, чем достигается большая легкость и безопасность маневрирования, а также становится не столь опасной фильтрация воды в виду уменьшающихся в данном профиле поверхностей сопряжения кладки с землей и меньше нарушается однородность земляной массы.



Черт. 48.

Черт. № 48 иллюстрирует применение железобетона для устройства водоспусков земляных плотин.

Затворы водоспусков, как мы видели, бывают клапанные и щитовые.

Последние разделяются на 2 группы:

первые—скользящие, применяемые при небольших потребных усилиях для поднятия щитов и

вторые—катучие, где трение скольжения заменено трением катания.

В этом последнем случае оказывается возможным увеличивать площадь сечения водоспускных отверстий при затрате сравнительно небольших усилий для под'ема щитов.

Глава третья.

Каменные плотины.

§ 1. Общие соображения.

Каменные водоудержательные плотины устраиваются на прочном однородном скалистом грунте, обнаженном и тщательно вымытом струей воды по удалении поверхностных рыхлых слоев и обделанном уступами для лучшего сопряжения кладки с основанием.

Материалом для устройства тела плотины служат прочный бутовый камень, уложенный на жирном растворе портланд-цемента, бетон состава 1:2:4 и до 1:3:5, а также применяется бетоно-бутовая кладка, образуемая погружением в бетон крупных камней прочных пород.

В последнем случае удастся в значительной мере сохранить преимущества бетона (монолитность и водонепроницаемость) и бута (большой удельный вес кладки).

Цемент применяется лишь лучшего качества, выдержавший все подлежащие испытания.

Независимо от рода кладки производство работ по возведению тела плотины должно происходить с особою тщательностью в целях достижения надлежащей прочности кладки и ее водонепроницаемости.

Последняя обеспечивается хорошей кладкой и покрытием напорного откоса цементной штукатуркой по жирному раствору, всего толщиной в несколько дюймов.

Каменная плотина обычно работает в условиях подпорной стены; но устраиваются также плотины арочного типа в целях облегчения профиля плотины и достижения тем самым экономии.

При этом, хотя профиль и получается легче, но возрастает длина плотины.

Экономический подсчет часто показывает выгодность устройства арочной плотины, не имеющей пока широкого применения в силу неопределенности расчета этого типа плотины и значительного риска при сильно облегченном профиле плотины.

§ 2. Определение профиля плотины.

Первый случай (подпорная стена). Задача заключается в определении наиболее легкого профиля плотины, отвечающего, однако, всем условиям устойчивости и прочности.

Подробное рассмотрение вопроса необходимо в виду возможности достигнуть большей экономии удачным назначением поперечного сечения плотины.

Положим, что профиль плотины имеет форму прямоугольного треугольника (черт. 49).

В запас прочности будем считать горизонт воды на уровне гребня плотины.

Условия устойчивости на опрокидывание профиля и скольжение его под действием напора воды требуют:

$$\left(\frac{HL}{2}\gamma\right) \frac{2L}{3} = m \cdot \frac{H^2}{2} \cdot \frac{H}{3} \text{ или } \frac{H}{L} = \sqrt{\frac{2\gamma}{m}} \quad (1) \text{ и } f \cdot \frac{HL}{2} \gamma = n \cdot \frac{H^2}{2}$$

где m —коэффициент устойчивости на опрокидывание, n —на скольжение, γ —удельный вес кладки, f —коэффициент трения кладки по кладке.

Последнее уравнение по упрощении принимает вид:

$$\frac{H}{L} = \frac{f \gamma}{n} \quad (2).$$

Сопоставляя уравнение (1) и (2), получим —

$$n = f \sqrt{\frac{m \gamma}{2}} = \frac{1}{2} \sqrt{m \gamma} \text{ при } f = 0,70$$

Таким образом, задавшись каким-либо соотношением $\frac{H}{L}$ сейчас получаем величину m и n , и, наоборот, задавшись величиной m —коэффициента устойчивости на опрокидывание—получаем размеры профиля и величину n —коэффициента устойчивости на скольжение.

Так, при $m=2$ и $\gamma=2,5$ имеем — $n = \frac{1}{2} \sqrt{5} = 1,11$.

Очевидно, сцепление кладки не принято здесь во внимание.

Посмотрим, при какой величине равнодействующая сил веса и давления воды проходит посреди рассматриваемого горизонтального шва.

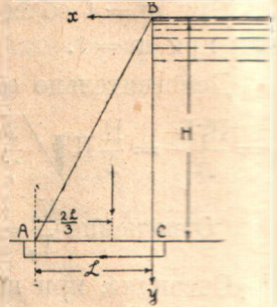
Уравнение моментов сил относительно середины сечения, дает:

$$\frac{H^2}{2} \cdot \frac{H}{3} = \frac{LH}{2} \gamma \frac{L}{6} \text{ или } \frac{H}{L} = \sqrt{\frac{\gamma}{2}}$$

Сравнивая последнее уравнение с уравнением (1), видим, что $m=4$ стенка равномерно сжата в любом горизонтальном сечении, ибо равнодействующая проходит посреди сечения.

Выяним, когда равнодействующая проходит чрез границу средней трети.

При этом, очевидно, $\frac{H^2}{2} \cdot \frac{H}{3} = \frac{LH}{2} \cdot \gamma \frac{L}{3}$, откуда $\frac{H}{L} = \sqrt{\gamma} \quad (3)$



Черт. 49.

Из сравнений уравнений (3) и (1) видим, что равнодействующая проходит через границу средней трети горизонтального сечения треугольного профиля при $m = 2$.

При $m = 4$ объем кладки на 1 пог. един. длины на 41% больше, нежели при $m = 2$.

Действительно объем кладки на 1 пог. един. длины

$$V_1 = \frac{H_1 L_1}{2} = \frac{H}{2} H \sqrt{\frac{2}{\gamma}} = \frac{H^2}{\sqrt{2} \gamma}; \text{ во втором случае } V_2 = \frac{H_2 L_2}{2} = \frac{H}{2} \cdot \frac{H}{\sqrt{\gamma}} = \frac{H^2}{2\sqrt{\gamma}}$$

$$\text{Отношение } \frac{V_1}{V_2} = \frac{H^2}{\sqrt{2} \gamma} : \frac{H^2}{2\sqrt{\gamma}} = \sqrt{2} = 1,41 \text{ т.-е. } V_1 > V_2 \text{ на } 41\%.$$

Очевидно, при прохождении равнодействующей через границу средней трети мы имеем самый экономический профиль, когда с напорной стороны напряжение кладки на сжатие равно нулю, а с внешней стороны напряжение максимальное.

При опорожненном водохранилище кривая давления пойдет по внутренней границе средней трети любого сечения, при чем с внешней стороны напряжение кладки на сжатие равно нулю, а с внутренней — максимальное (такова эпюра нагрузок).

Таким образом, треугольный профиль является основным при проектировании каменных водохранилищ плотин.

При этом при наполненном водохранилище максимальное напряжение N_1 на смоченной поверхности и N_2 тах в горизонтальном сечении соответственно равны:

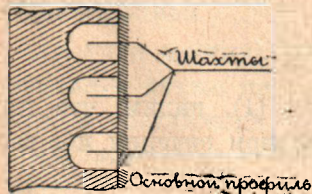
$$N_1 = -y \dots \dots \dots (4)$$

$$N_2 = -\frac{2}{m} \cdot \gamma y \dots \dots \dots (5)$$

Уравнение (5) при $m = 2$ имеет вид $N_2 = -\gamma y$, а при $m = 4$ имеем $N_2 = -\frac{\gamma y}{2}$, что, очевидно, и должно иметь место, ибо в первом случае нормальное напряжение меняется от γy до 0, а во втором оно равномерно распределено по сечению.

Очевидно, N_2 не должно превосходить допускаемого напряжения кладки на сжатие.

Наличие гидростатического давления воды, передающегося в горизонтальные швы кладки и стремящегося их раскрыть, заставляет некоторых инженеров отступать от облегченного профиля и требовать, чтобы с напорной стороны всегда было сжатие кладки, по величине большее N_1 , таким образом выдавливающее воду из шва.



Черт. 50.

Подобное требование сильно удорожает плотину.

При наличии указанного требования выходом из положения является способ применения особых шахт, примыкающих к основному профилю, и собирающих фильтрующую воду, немедленно отводимую из шахт (см. черт № 50).

При этом рассчитывается лишь основной профиль.

Кроме напряжения кладки на сжатие, появятся также и скалывающие напряжения как в горизонтальных плоскостях, так и вертикальных.

Срезающая сила по горизонтальной плоскости на глубине y равна $S_y = \frac{\gamma y^2}{2}$ при средней величине ее на единицу поверхности $\tau = \frac{S_y}{x}$ и т. д.

$$x = y \sqrt{\frac{m}{2\gamma}}, \text{ то } \tau = \frac{y}{2} \sqrt{\frac{2\gamma}{m}}.$$

По опытам Wilson и Gore, а также по исследованию проф. Моора, скалывающие силы распределяются по горизонтальной плоскости по закону прямой линии, так что на краю откоса

$$\tau = y \sqrt{\frac{2\gamma}{m}} \dots \dots \dots (6)$$

Как известно из теории упругости, $\tau^2 = N_1 \cdot N_2$ (на поверхности).

Действительно, $(y \sqrt{\frac{2\gamma}{m}})^2$ равно $y \cdot \frac{2}{m} \gamma \cdot y$ или $\frac{y^2 \cdot \gamma \cdot 2}{m} = \frac{y^2 2\gamma}{m}$

Итак $N_1 = -y$, $N_2 = -\frac{2}{m} \gamma y$ и $\tau = y \sqrt{\frac{2\gamma}{m}}$.

Что касается скалывающих напряжений в вертикальных плоскостях, то они распределяются равномерно по плоскости, при чем при $x=0$

имеем $\tau_{\max} = y \sqrt{\frac{2\gamma}{m}}$ и при $x = x_{\max}$ имеем $\tau = 0$.

x_{\max} относится к любому сечению (Franz Kreuter. Beitrag zur Berechnung und Ausführung der Staumauern).

Итак, зная m или зная $y = f(x)$, получаем величины всех основных напряжений в теле плотины треугольного профиля.

Для плотин небольшой высоты интересно знать лишь нормальные напряжения, ибо скалывающие напряжения получаются незначительные.

По мере увеличения высоты плотины, скалывающие напряжения начинают играть решающую роль.

Возьмем пример $H = 25$ mtr. $\gamma = 2,4$; $m = 2$

$$N_2 = - \frac{\gamma H^2}{m} = - 2,4 \cdot 25 = 60 \text{ tn/m}^2 = 6 \text{ klgr/cm}^2$$

$$\tau_{\max} = y \sqrt{\gamma} = 25 \sqrt{2,4} = 4 \text{ kgr/cm}^2$$

Очевидно, в данном случае для нас больший интерес представляет величина τ , близкая к предельной допускаемой для бетона лучшего качества (1:2:2); при $H > 25$ mtr для бетона того же качества τ_{\max} окажется больше допускаемого.

Кроме того, для плотин значительной высоты играют серьезную

роль и главные напряжения: $(W_1; W_2)_{x=L} = \frac{-(N_1 + N_2) \pm \sqrt{(N_1 - N_2)^2 + 4 \tau^2}}{2}$

$$\text{и } \max (\tau)_{x=L} = \frac{1}{2} (W_1; W_2) = \frac{1}{2} \sqrt{(N_1 - N_2)^2 + 4 \tau^2}$$

Изложенное о величинах напряжений верно лишь в случае теоретического треугольного профиля, ибо правило трапеции верно лишь в этом случае.

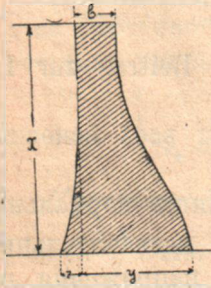
Следовательно, приведенные формулы будут тем более пригодны, чем ближе подходит данный профиль плотины к рассматриваемому теоретическому.

Очевидно, ни одна плотина не может оканчиваться сверху острием: необходимо иметь некоторую ширину поверху как для прохода, проезда, так и для придания плотине прочности при действии горизонтальных сил (льда, плавающих тел, волн). Ширина поверху зависит от высоты плотины и меняется от 4' до 15' и более.

Превышение гребня плотины над уровнем воды принимается от 2' до 10' и зависит от высоты волн в водохранилище, определяемой в футах величиной x формулы: $x^2 = 1,5\sqrt{F} + 2,5 - \sqrt[4]{F}$, где F — расстояние в морских милях по воде до берега, откуда дует ветер.

Кроме того, высокие плотины снабжаются парпетом высотой от 3' до 5'.

Что касается передней грани, то до известной высоты ее рационально устраивать отвесной, ибо раньше возникает опасность скалывающих напряжений, не уменьшающихся при наклоне передней грани, чем нормальных, кои и при вертикальной напорной грани при этом не превосходят допускаемых.



Черт. 51.

Придаaniem более пологого наклона задней грани уменьшаем скалывающие напряжения и нормальные (см. ур-ия 5 и 6).

В силу изложенного, наблюдаем в высоких плотинах, как задняя грань к основанию делается все положе и положе, доходя у подошвы до уклона 1:1.

Точные приемы определения ломаного очертания профиля плотины большой высоты довольно громоздки и здесь излагаться не будут¹⁾.

Имеются также практические формулы, которыми целесообразно пользоваться для предварительного очертания профиля.

Такова, например, формула Molesworth'a.

Обозначения показаны на чертеже № 51.

$y = \sqrt{\frac{0,05 \cdot x^3}{\lambda + 0,03 x}}$, но никак не менее 0,6 x ; $Z = \left(\frac{0,09 x}{\lambda}\right)^4$, где λ — допускаемое нормальное напряжение в тоннах на 1 кв. фут. ($8 - 12 \frac{\text{tn}}{\text{фут}^2}$); $b = \frac{a}{2}$ где $a = y$ при $x = \frac{H}{4}$.

Линейные размеры выражены в футах.

1) См. удачное изложение вопроса у Kreuter: Beitrag zur Berechnung und Ausführung der Staumauern.

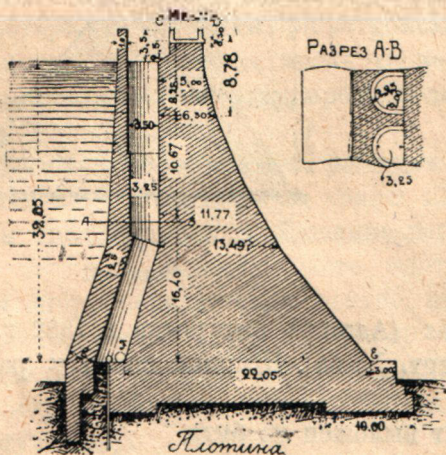
Наметив профиль, рассчитываем его по теории неравномерного сжатия, после чего получим приблизительные значения нормальных напряжений

Что касается скалывающих напряжений, то их можно найти с грубым приближением, подобрав треугольник, примерно заменяющий данный профиль плотины *).

Приведем примеры каменных водоудержательных плотин, работающих как подпорная стенка.

№ 1. Плотины на Сене (черт. № 52) представляет собой пример применения вертикальных шахт, недопускающих действия напора воды на переднюю грань профиля (см. выше). При этом рассчитывается лишь основной профиль. Размеры ясно показаны на чертеже.

№ 2. Другой пример применения защитной стенки впереди основного профиля имеем в плотине Saint-Cierges.



Черт. 52.



Черт. 53.

Защитная стенка здесь представляет собой железо - бетонную плиту толщиной 12 см., отстоящую от передней грани плотины на 10 см.

Через каждые 60 см. плита имеет вертикальные ребра, входящие в кладку.

Кроме того, по высоте плита соединена анкерами с телом плотины (черт. № 53).

Плита приготовлена из цементного раствора 1:2½ с армировкой из круглого железа.

Пространства, образованные плитой и ее рёбрами, внизу соединены между собой для сбора профильтровавшей воды.

№ 3. Плотина Furens (Франция) — одна из больших плотин, профиль которой определен по новым формулам. Плотина имеет высоту над скалистым основанием 170,6 при максимальной глубине воды 164'.

*) В случае необходимости учесть давление льда при расчете необходимо ввести силу давления льда $p \frac{\text{тн.}}{\text{пог. метр.}}$, найденную опытным путем.

В современных расчетах r_{max} колеблется от $3-5 \frac{тн.}{п. м.}$ до $25-30 \frac{тн.}{пог. метр.}$

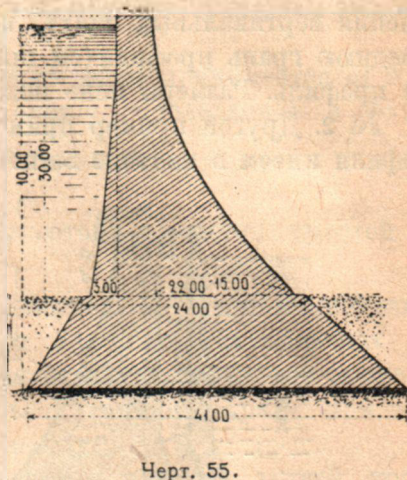
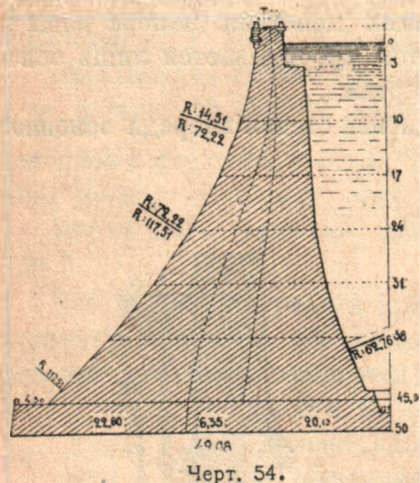
Толщина поверху равна 9',9, понизу — 161'.

Максимальное напряжение кладки на сжатие равно $6,82^m/\text{кв. фут.}$

В плане плотина очерчена радиусом 828',4, что, повидимому, в расчет не вводилось: профиль, видимо, рассчитан, как подпорная стенка (черт. № 54).

Материал тела плотины — бутовая кладка.

Вверху плотина снабжена парапетами высотой 1',6.



№ 4. Плотина Gran Cheurfas (Алжир) выстроена в 1882 г. и имеет высоту над фундаментом 98',4 (черт. № 55). Ширина поверху равна 13',1, понизу 72',2.

Трапециoidalный фундамент выложен из бута.

Профиль плотины очерчен с внутренней и наружной стороны по параболе.

Максимальная глубина воды — 132',2.

Максимальное напряжение кладки на сжатие равно $6,14^m/\text{кв. фут.}$

№ 5. Плотина Bhatgur (Индия) (черт. № 56).

Эта плотина имеет длину 4067' и высоту 127', ширину понизу 74' и 12' — поверху.

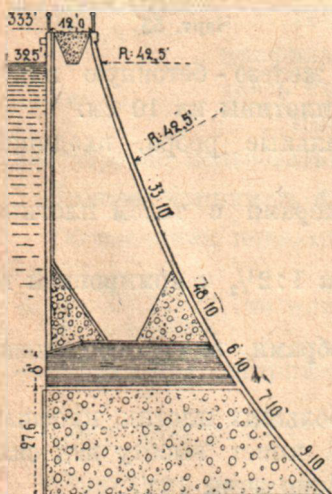
При наполненном водохранилище максимальное напряжение кладки на сжатие равно $5,8^m/\text{кв. фут.}$ (на задней грани), а при опорожненном — $6,7^m/\text{кв. фут.}$ (на передней грани).

Ширина водослива 810'. Водослив перекрыт арками, чтобы иметь возможность проезда через него.

В качестве донных спусков работают 15 отверстий, расположенных одно от другого в расстоянии 17'.

Сечение каждого отверстия — 4' × 8'.

Над спусками расположено два других водоспуска для полезных пропусков воды из наполненного водохранилища.



Черт. 56.

№ 6. Черт. № 57 изображает профиль плотины Chartrain, выстроенной около 27 лет тому назад.

Профиль плотины весьма приближается к треугольному.

Ширина поверху 4 mtr. и образована с применением арок.

Вес единицы объема кладки 2400 кгр., максимальное напряжение кладки на сжатие $9,1^{tm}$ кв. фут..

До высоты 30 mtr. (начиная от гребня) профиль плотины очерчен, как \triangle^k с основанием, равным $\frac{2}{3}$ высоты.

Далее, для уменьшения величины скалывающих и нормальных напряжений, задняя грань опускается к основанию более полого.

Второй случай (арочная плотина). В целях достижения экономии при устройстве плотин {применяют иногда арочную конструкцию плотины. При этом профиль получается более легкий*.)

В данном случае плотина работает не весом своим, а давление воды передается в виде распора на концы плотины, вызывая в теле плотины сжатие и предотвращая образование вертикальных трещин.

Но так как *нижняя* часть плотины закреплена в основании, то *внизу* на опоры передается, вероятно, небольшая часть напора воды.

Другими словами, там где напор *особенно* значителен, там плотина, повидимому, *меньше* работает, как арка, а больше, как подпорная стенка.

В силу указанного обстоятельства небезопасно рассчитывать плотину, как чистую арку.

Некоторые инженеры, как, например, Wegman, Krantz, Rankine и др., считают, что при благоприятных условиях нельзя отказываться от применения арочного типа плотины, но проектировать профиль необходимо, рассматривая плотину, как подпорную стенку.

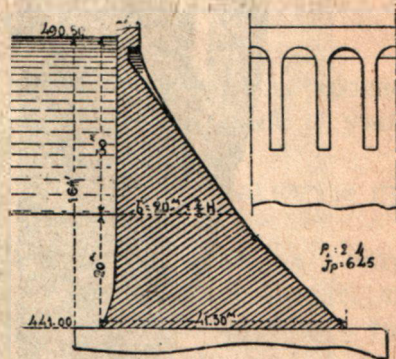
Другими словами, применение арки идет в запас прочности.

Иные, более смелые инженеры полагают, что при определении профиля плотины необходимо учитывать работу ее и как арки, что сильно облегчает профиль.

Третьи идут еще дальше и рассчитывают плотину исключительно, как арку, вследствие чего профиль получается чрезвычайно легкий (напр., плотины Zola и Bear Valley).

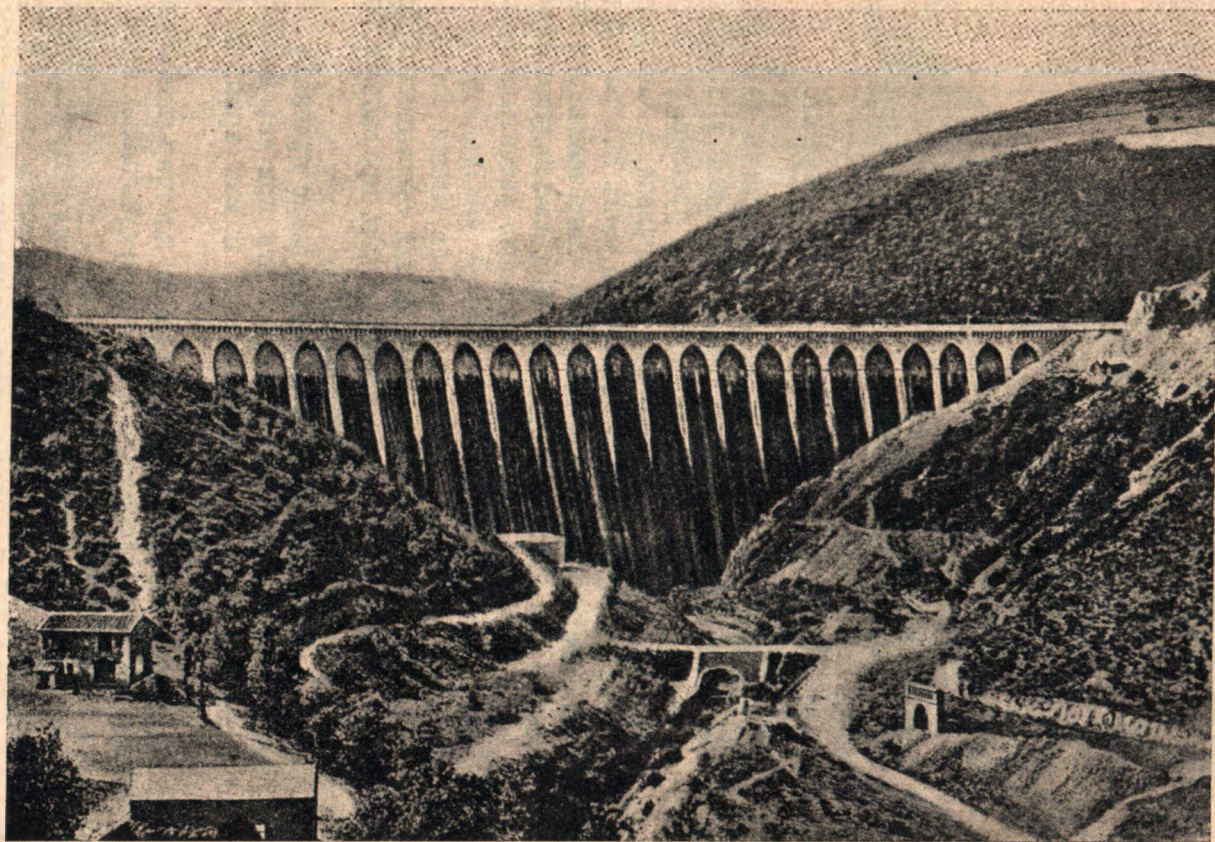
Несмотря на благополучное существование этих плотин, все же существует взгляд, по которому устройство плотин столь легкого профиля является рискованным; необходимо вводить железную арматуру.

Для определения максимального напряжения кладки арочной плотины на сжатие пользуются формулой: $\sigma = \sigma_0 \cdot \frac{2R}{R + r}$, где $\sigma_0 = \frac{R \cdot H \gamma}{b}$ —



Черт. 57.

*) Применение при скалистом грунте дна тальвега и таких же склонах.



Шартренская плотина (Луара).

среднее напряжение по сечению. При этом b — толщина плотины,

γ — вес единицы объема воды,

H — глубина под водой рассматриваемого горизонтального участка профиля.

Итак $\sigma = \frac{2H \cdot \gamma}{\frac{b}{R} \left(2 - \frac{b}{R} \right)}$ и $b = R \left(1 - \sqrt{1 - \frac{2H\gamma}{\sigma}} \right)$. $R = r + b$, где

r — меньший радиус очертания плотины. Правильный профиль арочной плотины также треугольный, измененный в трапециодальный с узким гребнем.

Наиболее благоприятное распределение напряжений получается при вертикальной напорной грани — и наклонной внешней грани.

Однако, в очень высоких плотинах напряжение кладки на сжатие под действием веса сооружения получает такое большое значение, что приходится изменять профиль протины в сторону равнобедренного треугольника для уменьшения разницы между максимальным и средним напряжением кладки на сжатие.

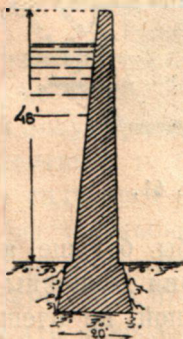
Ширина поверху берется обычно $s = \frac{\sqrt{H}}{2}$, где H — высота плотины в футах.

Приведем примеры существующих арочных плотин.

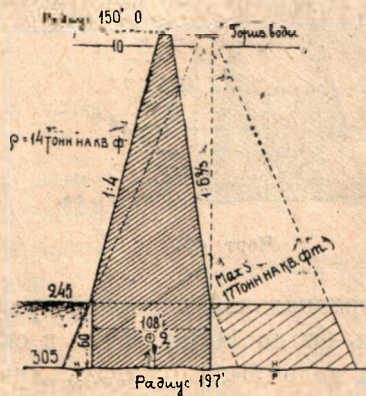
№ 1. Плотина Bear Valley (черт. № 58) представляет пример неправильной конструкции:

Профиль должен быть перевернут согласно предыдущему, т.е. внутренняя грань должна быть отвесной, а наружная — наклонной.

Максимальное напряжение кладки на сжатие равно $53 \frac{1}{2}$ кв. фут. = свыше 50 кгр./см². Сооружение крайне смелое.



Черт. 58.



Черт. 59.

№ 2. Плотина Shoshone (черт. 59) — высочайшая в свете плотина. Высота ее равна 245' над грунтом и 305' над скалистым основанием.

Напряжение кладки на сжатие от собственного веса $\sigma_1 = 14 \frac{1}{2}$ кв. фут. и напряжение в арке $\sigma_2 = 17 \frac{1}{2}$ кв. фут., т.е. имеем более осторожный профиль, с которым согласно большинство специалистов.

Однако, профиль плотины имеет дефект: так как тело плотины проходит сквозь песчаный водоносный слой вплоть до скалистого основания, следовало бы и определять профиль не до уровня песчаного грунта, а до скалы.

Другими словами, необходимо уширить основание слева, что даст незначительное увеличение кладки, но профиль будет правильным.

№ 3. На черт. № 60 изображен профиль Калифорнской плотины Sweetwater. Во время сильных ливней вода поднялась на 5' выше плотины, вследствие чего гребень впоследствии был поднят на 5',5 над его прежним уровнем. Получился, таким образом, парпет.

Напряжение $\sigma = \frac{2 H \gamma}{b \left(2 - \frac{b}{R} \right)}$ (см. выше), где $\frac{b}{R} = \frac{46}{232} = 0,2$.

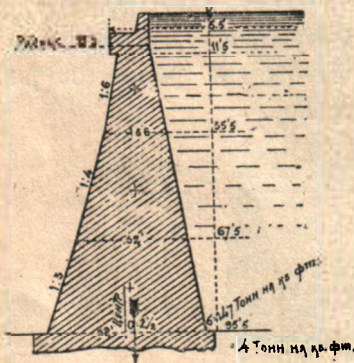
$$\sigma = \frac{2 \times 95 \times \frac{1}{36}}{0,2 (2 - 0,2)} = 14,7^m \text{ кв. фут.}$$

Напряжение от собственного веса.

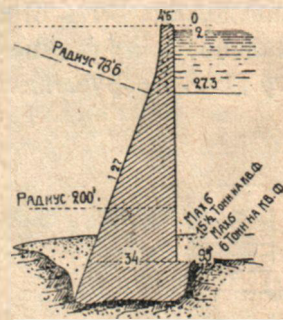
$$\sigma_1 = \frac{W}{b} \left(1 + \frac{6c}{b} \right) = \frac{139^m}{46} \left(1 + \frac{15}{46} \right) = 4^m \text{ кв. фут., где } 15 = 2,5 \times 6$$

при $c = 2,5$ фута.

Напряжение σ_1 невелико по сравнению с величиной σ .



Черт. 60.



Черт. 61.

При вертикальной напорной грани σ_1 стало бы больше, а второе (σ) уменьшилось бы до 14^m кв. фут. в силу уменьшения величины R .

Этого и надо было ожидать при сравнительной не очень большой величине H .

№ 4. Австралийская плотина Barossa (черт. № 61) выстроена по хорошему и смелому проекту. Напорная грань вертикальна и внешняя грань имеет уклон $2,7:1$ $\left(\frac{\text{вертикаль}}{\text{горизонталь}} \right)$.

Гребень имеет толщину $4\frac{1}{2}$ фут. и на глубину 27' от самого верха укреплён 40 фунтовыми рельсами, заделанными в бетон.

Максимальное напряжение в арке $\sigma = 15\frac{1}{2} \text{ тн/кв. фут.}$, $\sigma_1 = 6 \text{ тн/кв. фут.}$ (от собственного веса),

Кроме описанного арочного типа, в случае большой длины и умеренной высоты плотины применяют арочные плотины малых пролетов с промежуточными быками, т.-е. имеем аналогичный случай, как и при проектировании мостов.

Приведем таблицу, указывающую размер получаемой экономии при замене плотины, работающей, как подпорная стена, на рассматриваемый тип плотины.

| Высота плотины. | Экономия в % |
|-----------------|--------------|
| 30' | 31 % |
| 50' | 28 % |
| 100' | 23 % |
| 150' | 12 % |
| 200' | 9 % |

Пример плотина Mir Alam Tank (Южная Индия) (черт. 62).

Плотина состоит из ряда вертикальных полуциркульных арок различного пролета.

Арки упираются в быки.

Пролет варьируется в пределах от 70' до 147'.

Среднее напряжение $\sigma = \frac{R \cdot H \cdot \gamma}{b} = 10\frac{1}{2} \text{ тн/кв.}$

фут. Кладка кирпичная. Толщина арки $8\frac{1}{2}'$, высота 40'. Лучшее всего профиль брать не прямоугольный, а трапециoidalный, что при одном и том же количестве материала, даст более разумное его распределение. Тогда ширина понизу в данном случае могла быть взята 14' вместе $8\frac{1}{2}'$, а гребень можно взять 3' или $\frac{\sqrt{H}}{2}$.

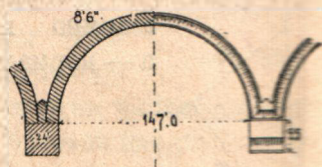
Напряжение σ понизится при этом с 10,6 до $6,5 \text{ тн/ф}^2$.

Если полуциркульное очертание заменить сегментным, то потребуются больший радиус, в силу чего величина σ возрастет и понадобится большая толщина арки.

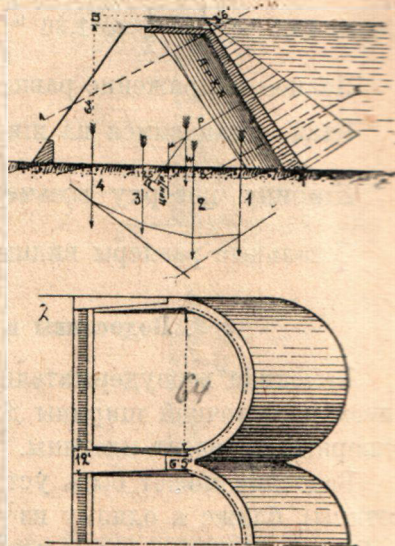
Но при этом уменьшается длина плотины (арки). При проектировании приходится искать наиболее экономичное решение путем ряда пробных вычислений.

Наклонное положение оси арки желательно, ибо улучшаются условия устойчивости конструкции.

Черт. № 63 изображает арочную плотину высотой 64' при слое воды, переливающейся через плотину, в 5'. Угол наклона оси арки к горизонту равен 60° .



Черт. 62.



Черт. 63.

При проектировании необходимо было выяснить вопросы;

1. Величина пролета не должна быть меньше высоты плотины по соображениям экономического характера. В данном случае пролет взят равным высоте плотины.

2. Толщина быков берется обыкновенно $\frac{1}{3}$ от пролета. В данном случае—12'.

3. Радиус взят в 40', что отвечает стреле под'ема в $\frac{1}{4}$ пролета, т.-е. 16'.

Соотношение одобрено практикой.

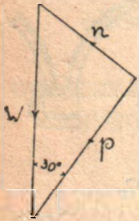
4. Толщина арки берется такой, чтобы напряжение кладки не превосходило $12\frac{1}{2}$ т/фут.².

При ширине понизу 7', радиус $R = 47' = 40' + 7'$.

Ширину в берем в точке пересечения внутренней грани арки с подошвой.

$$\text{Тогда } \sigma_0 = \frac{R \cdot H \gamma}{b} = \frac{47 \times 60 \times 1}{7 \times 36} = 11,2 \text{ т/кв. фут.}$$

Кроме того имеем напряжение от собственного веса. Пусть 1 кв. фут. арки весит W . Силу W разлагаем на 2 силы в двух направлениях, взаимно перпендикулярных: p — параллельно оси арки и n — нормально к ней (черт. 64.)



Черт. 64.

$$n = W \sin \theta = W \cdot \frac{1}{2} = \frac{W}{2}$$

$$\text{Следовательно } S = R_1 \cdot \frac{W}{2}$$

$$\text{где } R_1 \text{ — средний радиус} = 40 + \frac{7}{2} = 43,5$$

$$\Delta \sigma = 43,5 \times \frac{1}{16} \cdot \frac{1}{2} = 1,36 \text{ т/кв. ф.}, \text{ где } \frac{1}{16} \text{ тн} = \text{вес 1 кв. ф. кладки.}$$

Полное напряжение равно $\sigma + \Delta \sigma = 11,2 + 1,36 = 12,56$ т/кв. ф.

Итак, остановимся на ширине понизу в 7'.

Ширину поверху возьмем $\frac{\sqrt{H}}{2} = 4'$.

Остальные размеры видны из чертежа.

§ 3. Водосливы и водоспуски каменных плотин.

Каменная вододержательная плотина должна быть снабжена водосливом достаточной ширины для пропуска излишних вод, повышающих подпорный горизонт плотины.

Водослив может быть устроен в средней части (или по всей длине плотины), ближе к одному из ее концов или совсем в стороне, от плотины не будучи связан с телом плотины.

Последнее устройство является наиболее предпочтительным, ибо при таких условиях плотина работает наиболее выгодно, подверженная лишь спокойной статической нагрузке.

Расположение водослива в средней части (или по всей длине) допустимо лишь при наличии водяной подушки ниже плотины — случай, имеющей место, когда плотина устроена на потоке.

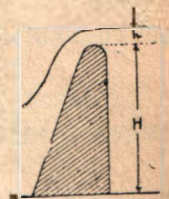
Наконец, водослив устраивается у одного из концов плотины там, где последняя имеет незначительную высоту.

В последних двух случаях приходится определять профиль плотины на основании соображений, изложенных в § 2.

В этом случае вершину треугольного профиля считают на высоте $1,00 + \frac{h}{3}$ от гребня водослива для плотин высотой до $5^m,00$, где h — толщина переливающегося слоя воды.

Таким образом, высота треугольника равна $H + \frac{h}{3} + 1^m,00$.

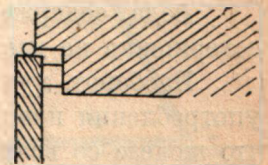
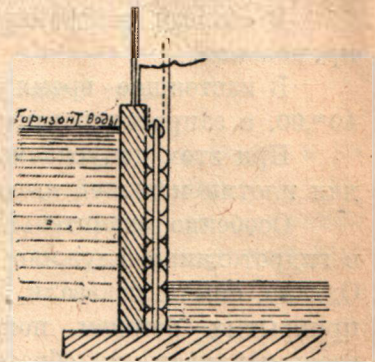
Для плотин большой высоты обычно считают полную высоту основного треугольника за $H + h$ и на уровне гребня водослива устраивают плавное очертание, как на задней грани, так и на передней в целях повышения пропускной способности водослива, определяемой при этом известной формулой $Q = 0,45\sqrt{2g} h^{3/2}$. $b = \sqrt{2bh^{3/2}}$, где b — ширина водослива, а h — толщина переливающегося слоя воды. (Черт. 65).



Черт. 65.

Внешнюю грань водосливного участка плотины обделывают по плавной кривой, продолжая ее и у основания плотины, или, с целью погасить значительную часть энергии падающей воды, обделывают наружный откос уступами из прочной бутовой кладки, воспринимающими на себя удар воды. Так как удар падающей воды о скалистое основание не может пройти бесследно для последнего, то устраивают водяную подушку для погашения силы удара (часть II, гл. I).

В случае, если водослив устраивается в стороне от плотины, он может иметь конструкцию, описанную в главе II, часть I, § 8, а также устраивается в виде тоннелей или, примерно, того же профиля, что и в ранее описанных случаях.



Черт. 66.

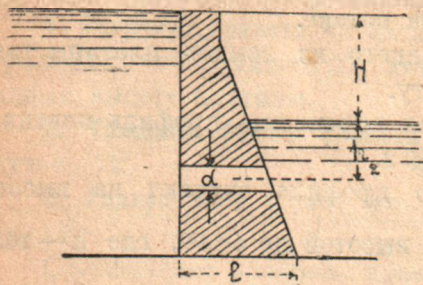
Примером водоспускных отверстий могут служить отверстия плотины Bhathur (Индия), закрываемые тяжелыми железными щитами весом 2^m .

Щиты скользят в вертикальных пазах и поднимаются винтовой передачей путем вращения вручную рукоятки механизма. В позднейших конструкциях трение первого рода стремятся заменить трением второго рода, т.е. щиты катаются по особой раме, снабженной роликами (см. черт. № 66).

Такая система носит название системы Stoney.

Конструкции и их детали будут освещены подробно на упражнениях.

Данные для расчета отверстий каменных вододержательных плотин.



Черт. 67.

Расход через отверстие, показанное на чертеже № 67, равен $Q = \mu \omega \sqrt{2gH}$, где $\mu = 0,80 - 0,82$.

При этом $d > d$ в $3\frac{1}{2} - 4$ раза иначе $\mu = 0,6$.

Вследствие сильного напора может получиться чрезмерный вакуум $V = 0,8H - h_2$, который не должен быть $> 7^m,00$.

В противном случае $\mu = 0,6$.

Глава четвертая.

Железо-бетонные и металлические плотины.

§ 1. Железо-бетонные плотины.

Долгое время существовало опасение применять железо-бетон в гидротехнике.

Теперь же известно, что нет ни одной отрасли гидротехники, где бы не применялся железо-бетон.

В области постройки плотин железо-бетон также нашел широкое применение.

В настоящее время выстроено много плотин высотой от $3^m,00$ до $40^m,00$, а запроектированы плотины высотой до $96^m,00$.

При этом допускаемые напряжения были удержаны такими же, как и для плотин меньшей высоты.

Особенно значительным препятствием к применению железо-бетона в гидротехнике служило опасение появления ржавчины на арматуре. Однако, опыты показали, что ржавчина на железных частях, достаточно прикрытых бетоном, появиться не может, так как последний действует восстанавливающим образом.

Вода, содержащаяся в значительном количестве в пластичном бетоне, совершенно не дает ржавчины,

Наоборот, лучшее средство для предохранения железа от ржавчины — употребления пластичного бетона, который дает нам уверенность в том, что железо со всех сторон действительно покрыто раствором.

Преимущества железо-бетона по сравнению с каменной кладкой, в применении к постройке плотин, сводятся к следующим:

1. Меньшая стоимость в обычных условиях.
2. Быстрота производства работ.
3. Большая сопротивляемость при землетрясениях.

Что касается стоимости, то она, конечно, может в различных условиях колебаться в широких пределах, но чаще железо-бетонные сооружения дешевле.

Быстрота производства работ весьма значительна.

Плотина Ellsworth высотой 19^м,65 начата бетонированием 9 июня и закончена 14 ноября при кубатуре 630 кб. саж.

Теперь о способности противостоять действию усилий, возникающих в сооружении во время землетрясения. Вследствие упругости материала и жесткости железо-бетонные конструкции воспринимают усилия в целом; таким путем расходуется живая сила удара и сооружение не испытывает никакого вреда.

Благодаря последнему достоинству железо-бетон начинает находить применение при постройке крепостей. Землетрясение в С.-Франциско показало, что железо-бетон незаменим в местностях, подверженных землетрясениям. В отношении водонепроницаемости бетона состава 1:2:4 можно быть спокойным при толщине бетонного слоя, отвечающей напору по таблице:

| δ | h |
|----------|------|
| 4" | 4' |
| 15" | 40' |
| 66" | 100' |

где δ — толщина бетонного слоя и h — напор воды.

В промежуточных положениях по данным находим величину, построив кривую по трем точкам.

Приведенные данные относятся лишь к пластичным бетонам: жесткие бетоны пропускают воду при $\delta = 4'$ и $h = 2' - 3'$.

Наиболее распространенный тип железо-бетонной плотины — это контрфорсная полая плотина. Устраиваются также железо-бетонные плотины сплошного сечения, работающие по принципу подпорной стенки или арки.

Железо-бетонные плотины контрфорсного типа.

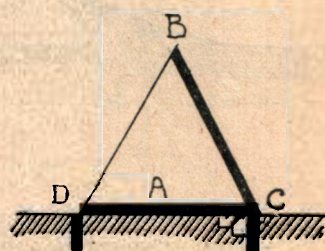
Устраиваются преимущественно на скалистом грунте, а также и на галечно-гравелистом при не слишком большой высоте, но могут быть устроены и на более слабых грунтах при соответствующей конструкции основания и при незначительной высоте. Плотина образуется рядом вертикальных контрфорсов, перекрытых с напорной стороны плитой.

Контрфорсы имеют вид тонких ребер треугольного очертания при наклоне грани BC к горизонту от 30° до 45° (см. черт. 68).

Задняя грань BD наклонена к горизонту под углом от 45° до 90°. Расстояние между контрфорсами в существующих плотинах равно от 1^м,50 до 5^м,50.

Сечение контрфорса или трапециoidalное или ступенчатое.

Для придания конструкции жесткости в продольном направлении контрфорсы связаны ребрами жесткости (см. черт. № 69).



Черт. 68.

Таблица № 1.

| НАЗВАНИЕ ПЛОТИНЫ. | Высота плотины. | Уклон передней грани к горизонту. | Уклон задней грани к горизонту. | Толщина плиты вверх. | Толщина плиты вниз. | Расстояние между контрфорсами. |
|-----------------------------|-----------------|-----------------------------------|---------------------------------|----------------------|---------------------|--------------------------------|
| | в метр. | | | в м | т р а х. | |
| La Pilesperre | 40,00 | 40° | 90° | 0,40 | 1,40 | 5,10 |
| Ellsworth (водосливная) . . | 19,65 | 43° | 60° | 0,36 | 0,94 | 4,57 |
| Shetucket | 11,00 | 45° | 45° | 0,50 | 0,50 | 3,05 |
| Massachusetts | 10,20 | 40° | 64° | 0,25 | 0,68 | 3,60 |
| Shuylerville | 8,60 | 45° | 57° | 0,20 | 0,24 | 2,46 |
| Huntingdon | 8,53 | 45° | 3 : 2/56° | 20/0,23 | 0,38 | 3,05 |
| New-Iork | 3,40 | 30° | 85° | 0,15 | 0,15 | 1,85 |
| Fenelon Falls | 3,05 | 35° | 90° | 0,18 | 0,25 | 3,05 |

Статический расчет плотин рассматриваемого типа не представляет никаких затруднений.

Таблица № 2.

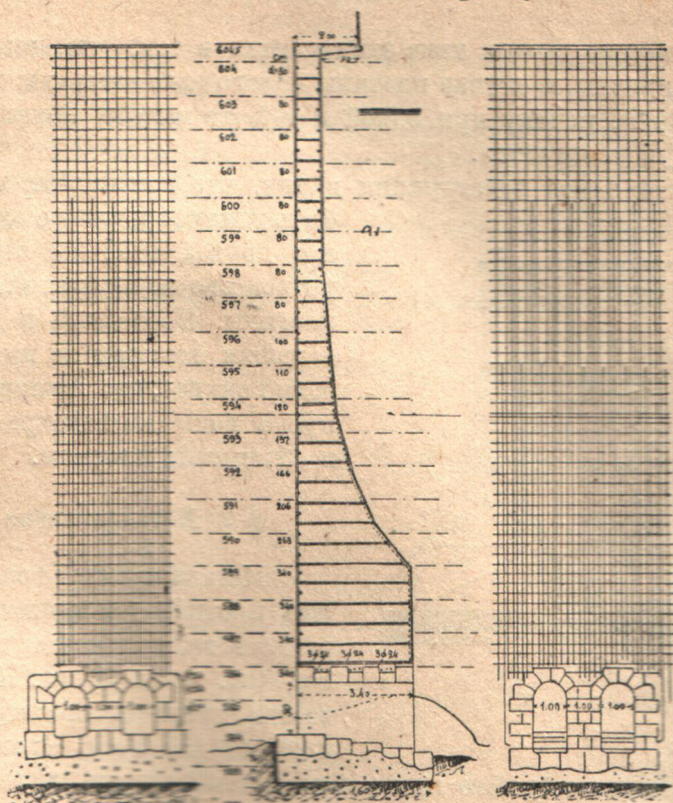
| Угол наклона передней плиты к горизонту. | 45° | 37 $\frac{1^0}{2}$ | 30° |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|
| Кубатура в куб. метр. | 58,5 | 64,3 | 75 |
| Напряжения у переднего и заднего ребра контрфорса при различных степенях наполнения в кг/см². | 3,39—3,19 5,32—2,68 7,50—2,5 9,38—3,19 11,7 —5,89 | 2,87—3,10 4,00—3,60 5,50—4,60 7,40—6,20 9,00—7,80 | 3,3 —3,1 5,74—2,4 9,43—1,6 12,9 —2,1 15,5 —3,2 |

Таблица № 2 содержит результаты подсчетов для плотины высотой 18 м,00.

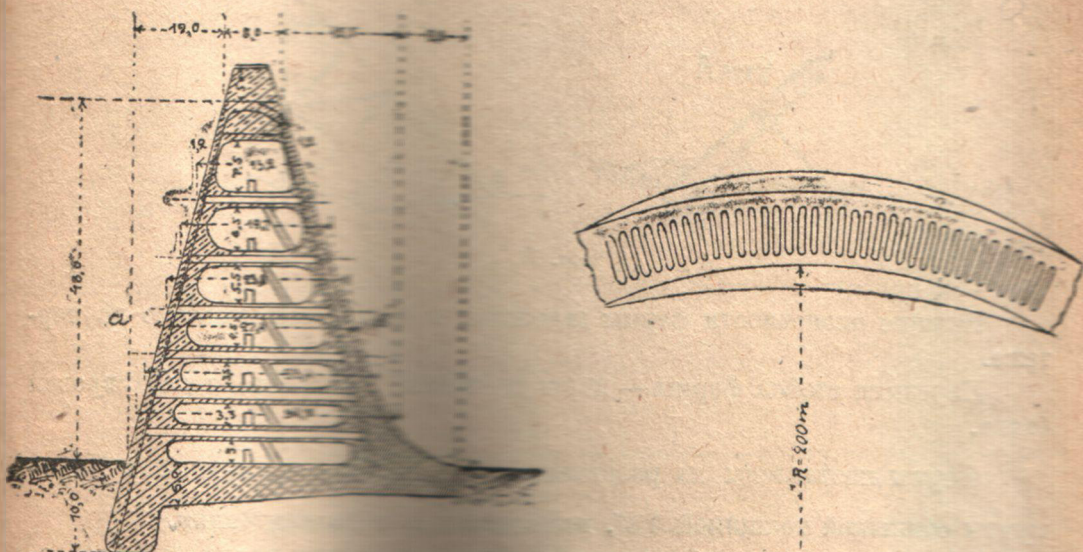
Плита рассчитывается как неразрезная балка, если она жестко связана с контрфорсами, а не входит в пазы контрфорсов.

Контрфорсы считают на неравномерное сжатие при известной жесткости всей конструкции в продольном направлении.

Этот тип является промежуточным между полым типом и сплошным.
Плотина очерчена в плане внутренним радиусом в 200^м.



Черт. 74.



Примером конструкции, преследующей использование силы веса воды для придания плотине большей устойчивости; является плотина Джексона (черт. № 76).

Преимущество такого типа заключается в том, что, вместо водяной треугольной призмы, в случае плотины полого типа здесь мы имеем призму четырехугольную, почему при одной и той же высоте полезная нагрузка водой вдвое увеличивается.

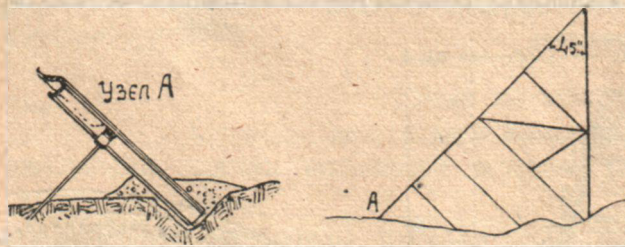
Недостаток такой конструкции в том, что нет пустот, кои могли бы быть утилизированы с одной стороны, а с другой стороны затруднительно устройство водосливной части в теле плотины. Последний недостаток при больших высотах не имеет значения, если помнить, что лучший способ пропуска воды из водохранилища — это в обход тела плотины.

§ 2. Металлические плотины.

Металлические вододержательные плотины применяются довольно редко в виду присущих им недостатков (см. часть II, гл. II, § 5). В качестве примера приведем описание плотины Ash Fork. Плотина Ash Fork

имеет 184' длины по гребню при максимальной высоте 46' (черт. № 77).

Конструкция состоит из ряда ферм, изображенных на черт. № 77, перекрытых со стороны наклонной, напорной грани металлической обшивкой.



Черт. 77.

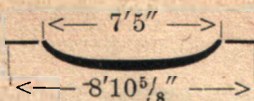
Нижние оконечности фермы заделаны в бетон, как показано на чертеже.


Передняя стойка фермы — 20-ти дюймовая, 65 фунтовая двутавровая балка.

Фермы поставлены на расстояние $8'10\frac{5''}{8}$ одна от другой и перекрыты обшивкой толщиной $\frac{3}{8}$ ", приклепанной к полкам балки.

Обшивка не плоская, а криволинейного очертания радиуса 7'6", образующая ряд лотков по фасаду.

Ширина лотка — 7'5"



Задняя стойка —  сечения; того же сечения подкосы.

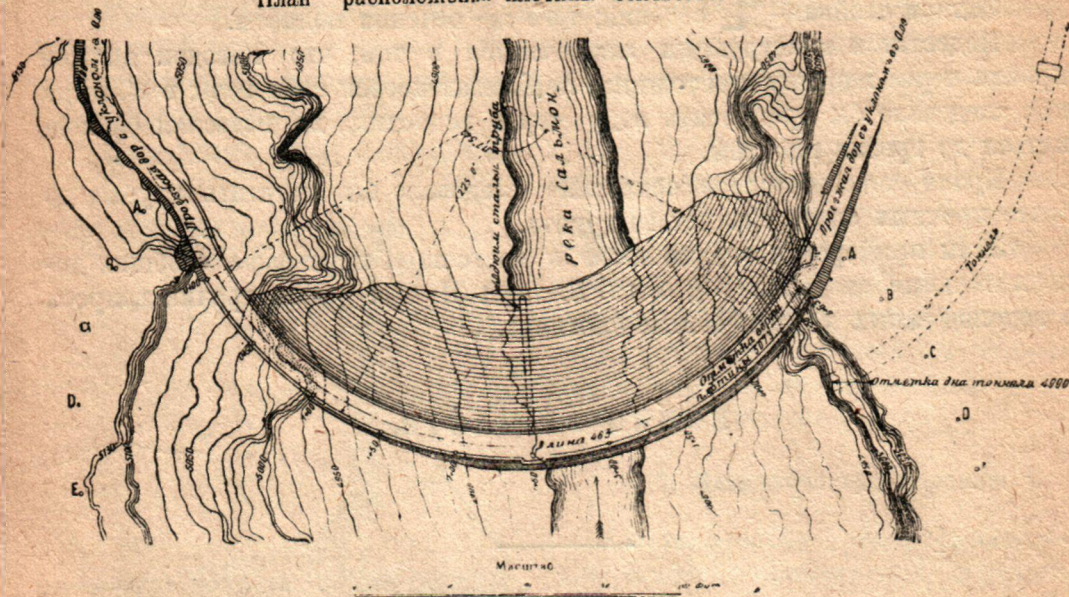
Недостаток конструкции заключается в том, что паводок должен пройти через плотину при толщине переливающегося слоя воды в 6', тогда следовало бы пропустить воду через водослив, не позволяя ей подняться до гребня плотины.

Кроме того, бетонное основание следовало бы опустить глубже до более прочных слоев скалистого грунта.

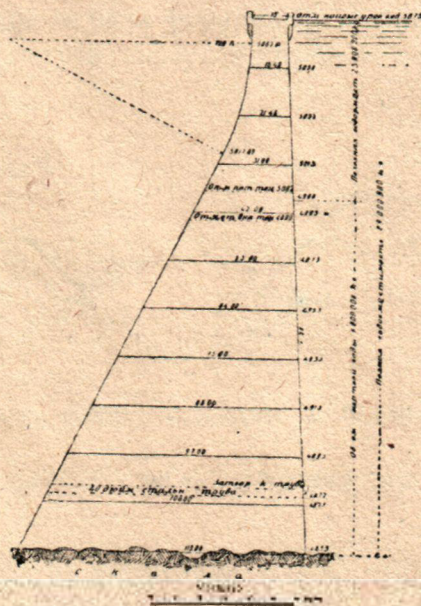
Этим примером и ограничимся в настоящем параграфе, сообщив дополнительные сведения в § 5, гл. II, часть II при рассмотрении вопроса о водоподъемных металлических плотинах.

КОНЕЦ 1-й ЧАСТИ.

План расположения плотины САЛЬМОН



Черт. 78.



Черт. 79.

Новейшие итальянские водоудержательные плотины *).

§ 1. Введение.

До последнего времени Италия не испытывала потребности в устройстве искусственных водохранилищ, питающих судоходные каналы, ибо большая часть этих каналов имеет возможность питаться из больших озер: Garde, Gôme, Lugano и др. Кроме того, помогают естественные запасы замерзших вод—ледники Альп.

Однако судоходные каналы Аппенинских долин, нуждавшиеся в переустройстве, не имели достаточного питания, за отсутствием глетчеров на Аппенинах. В силу этого пришлось прибегнуть к устройству плотин, задерживающих воду с целью использования ее в межень.

Сооружение крупных гидроэлектрических станций и орошение земельных угодий также начинает входить постоянной статьей в бюджет Италии, начиная с 1900 года.

Здесь мы рассмотрим лишь сооружения, наиболее интересные с технической стороны.

§ 2. Земляные плотины.

Черт. № 80. изображает одну из высоких земляных плотин, построенных в Италии.

Плотина расположена в долине Enza на высоте 1160 metr над уровнем моря в 87 километрах от Пармы.

Объем образовавшегося водохранилища равен около 3.000.000 кв. метр. при водной площади 5,7 кв. километра.

Объем тела плотины равен 110.000 кв. метр. при напоре плотины до 21,™00.

Глубина заложения основания доходит местами до 5 metr. ниже дна долины.

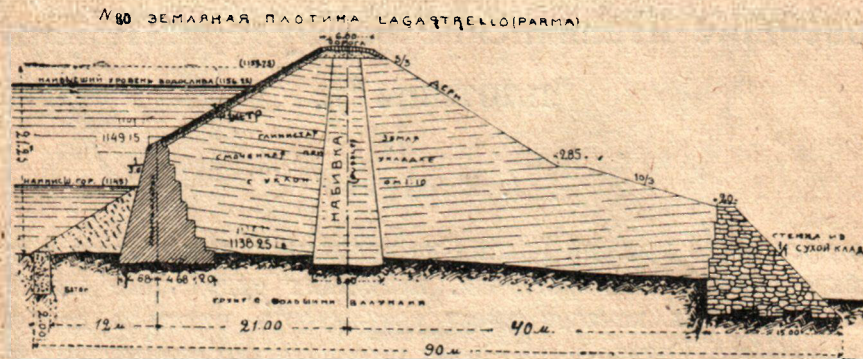
*) Настоящий обзор помещен, как дополнение к курсу водоудержательных плотин, ибо содержит ряд сведений, дополнительно освещающих положения, изложенные в части I конспекта. Сведения заимствованы из докладов, представленных итальянскими инженерами L. Luiggi и A. Forti на XIII Международн. Судоходн. Конгресс, назначенный в Лондоне 3/VII 1923 года.

Водохранилища служат для питания центральной Гидроэлектрической станции, получающей энергию также из других водохранилищ.

Общая мощность станций—10.000 IP.

Отработавшая вода используется для орошения долины Enza.

В силу местных условий, малоблагоприятных для устройства каменных плотин, остановились на профиле земляной плотины (черт. № 80).



Наличие глинистых материалов лучшего качества способствовало выбору земляной плотины.

Подводный откос плотины укреплен камнем до 30 см. длины по слою щебня, при общей толщине одежды в 1,00 м.

Укрепление произведено для защиты от волн, достигающих значительной величины в силу сильных ветров с моря.

Покров такой конструкции отличается большой гибкостью, ибо может следовать за осадкой плотины, не расстраиваясь при этом.

Диафрагма сделана из земляного бетона (набивки *).

Чтобы наружный откос не обваливался в дождливое время, он имеет упор в виде стенки из каменной наброски.

Эта стенка создает к тому же удобные условия дренажа.

Во время производства работ, когда гребень плотины не был еще доведен до полной высоты плотины, произошел исключительный по величине внезапный паводок (18—21/XII—1909 г. выпало 545 мм осадков, а также происходило таяние снега, благодаря теплоте южному ветру).

Паводок внезапно наполнил бассейн несмотря на то, что отвод воды со дна сооружения достигал 8 куб. метр. в секунду.

Бассейн опорожнился чрез промоину в плотине, произведенную до основания, но на небольшой ширине. Чрез 7 часов вода ушла из бассейна.

Промоина была заделана.

В 1913 г. плотина была подперта до уровня водоема, имеющего ширину 18,00 при метровой толщине переливающегося слоя воды.

*) Состав набивки: 20% — мятой глины.

15% — песок мелкий.

35% — песок крупный.

30% — гравий.

При этом до гребня плотины остается 3^м,50.

Плотина работает отлично без какой бы то ни было фильтрации, хотя берегов содержит валуны, а следовательно до известной степени водонепроницаем.

Стоимость плотины выразилась в 620.000 франков.

Земляные работы по устройству тела плотины обошлись в 4,55 франка за куб. метр, включая расходы на восстановление размывтой части. Без последнего учета стоимость понизится до 3,45 франк. за 1 куб. м.

Построенная плотина—первое и самое лучшее сооружение из числа земляных плотин Италии.

§ 3. Плотины из каменной наброски.

Этот тип плотины распространен в Сев. Америке.

Там существуют плотины этого типа высотой от 30 до 40 метр. и достигают даже до высоты 51^м,00 (плотина Morena River в Калифорнии).

Водонепроницаемость этих плотин достигается путем устройства центральной диафрагмы или посредством такой же диафрагмы, расположенной у подошвы подводного откоса.

В Европе эти плотины еще редки и начинают строиться лишь в последнее время.

Плотина на озере Alpone. Первая попытка этого рода работ в Италии относится к 1906 году.

Попытка скромная и даже робкая в виду новизны этого рода работ в Италии.

Плотина Alpone находится на высоте 2,000 метр. над уровнем моря.

Она состоит из массива сухой кладки, высотой 7^м,00 шириной в основании—7^м,00 и поверху—3^м,00.

Массив выложен на бутовом фундаменте, основательно укрепленном в скале (см. черт. № 81).

Массив из сухой кладки выполнен весьма тщательно и взамен диафрагмы устроена водонепроницаемая одежда из бетона по поверхности подводного откоса.

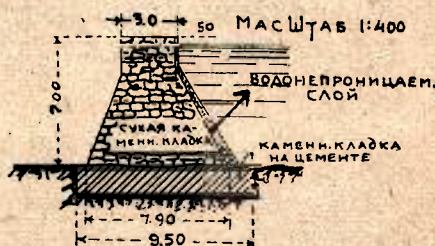
Равнодействующая сила веса кладки и давления воды проходит через середину основания, в силу чего давление передается на основание равномерно.

Сооружение оказалось удачным.

Строил инженер Barbieri.

Плотина Biaschina выстроена для регулирования стока из озера Chironico.

№ 81 ПЛОТИНА НА ОЗЕРЕ ALPONE
(из каменной наброски)

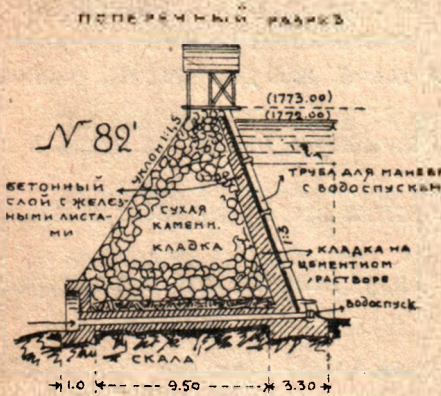


Наибольшая высота напора равна $11^м,00$ (черт. №№ 82 и 82¹).

Профиль плотины—дамба из сухой каменной кладки с подводным откосом 3:1 и наружным 2:1.



Со стороны подводного откоса выложена предохранительная стенка на цементе, покрытая железо-бетонной плитой (железные листы в бетоне).



В 1912 году сооружение было закончено и оказалось во всех отношениях удовлетворительным.

Плотина Devero имеет высоту до $31^м,00$ при откосах: на воду—1:1, наружу 1:1 $\frac{1}{4}$ (черт. № 83 и № 83¹).

Напор равен $21^м,80$, превышение гребня плотины над подпорным горизонтом равно $2^м,00$.

Основание заложено частью на скале, частью на песчано-глинистом грунте с валунами.

Подобное основание было бы плохим для земляной плотины или каменной, но для плотины из сухой кладки оно не представляет неудобств

№ 83

ПЛОТИНА

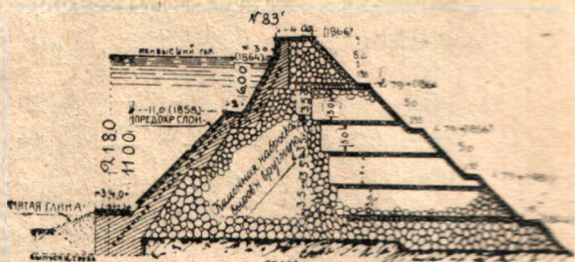
DEVERO



в виду способности этого типа плотин давать осадку без заметного расстройств кладки.

Что касается части плотины, обращенной к напорной стороне, то ~~здесь~~ каменная отсыпь лишь разравнена вручную; наоборот, со стороны ~~напорной~~ откоса слои из каменной наброски сменяются слоями из ~~правильной~~ сухой кладки, чем достигается лучшее распределение усилий.

Водонепроницаемость сооружения обеспечивается прикрытием подводного откоса слоем камня на цементном растворе и еще более достигается двойным слоем асфальта, защищенным в свою очередь слоем цементного раствора и гранитной облицовкой из штучных камней, уложенных на этот слой раствора.



Этим путем асфальтовый слой предохраняется от резких колебаний температуры и от ударов плавающих тел.

Постройка эта, довольно смелая для европейцев, оказалась удачной.

Проект был составлен Миланским инж. Villoresi.

Он же был и строителем плотины.

Постройка заняла 2 года и обошлась в 868.000 франков, что ~~дает~~ ~~сбав~~ 698 фр. за 1 куб. метр сбереженной воды и 16,07 фр. за 1 куб. метр тела плотины.

Описанные три последних сооружения для европейцев являются ~~новым~~ типом плотин, оправдавшим свою рациональность при ~~условиях~~, упомянутых в § 6 главы II часть I, каковые выводы разделяются ~~итальянскими~~ инженерами, кроме требований известного заложения откосов, ~~которые~~ итальянцами иногда облегчены, но зато обращено особое внимание на тщательность сухой кладки и покрытие ее с напорной стороны водонепроницаемой одеждой, частичное разрушение коей не может причинить сооружению заметного вреда.

§ 4. Каменные плотины.

а) Плотины, работающие как подпорные стены.

Плотина *Badana* построена в местности, отличающейся сильнейшими ~~ветрами~~ и быстрым стоком воды.

Наивысший подпорный горизонт превышает подошву сооружения на ~~40~~ при высоте плотины 56,00 (черт. №№ 84, 84¹).

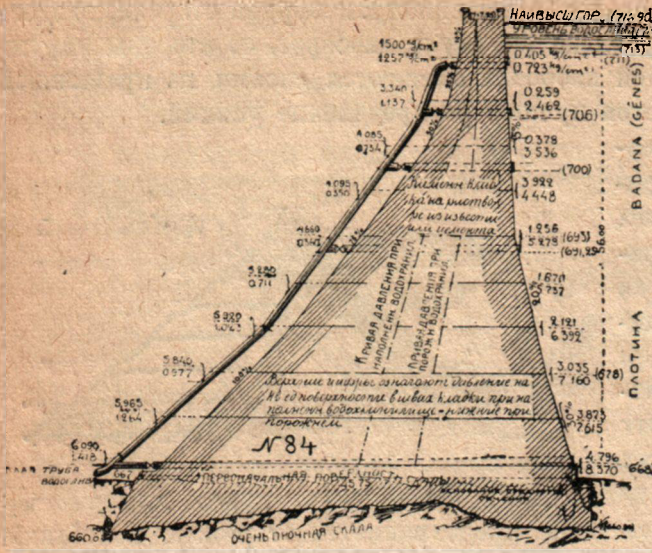
Плотина *Badana*—самая высокая плотина в Италии.

Грунт основания—крепкая трещиноватая скала.

Объем кладки плотины равен 100.000 куб. метр.

Плотина эта хотя и слегка криволинейная в плане, однако рассчитана. ~~как~~ подпорная стена.

Напорный откос имеет уклон к вертикали от 50% до 30%.



Такой уклон надо признать преувеличенным: обычно не делают его более 10%, а чаще вертикальным при не слишком большой высоте сооружения.

Наружный откос имеет уклон до 100%, что также является не отвечающим теории М. Lévy.

В последующих плотинах указанные соображения уже учтены и профили отвечают всем требованиям современной плотинной техники.

При расчете плотины вес единицы объема кладки принят $\gamma = 2,3$ тн в 1 куб. м., допускаемое напряжение кладки на сжатие принято 15 кгр/см.².

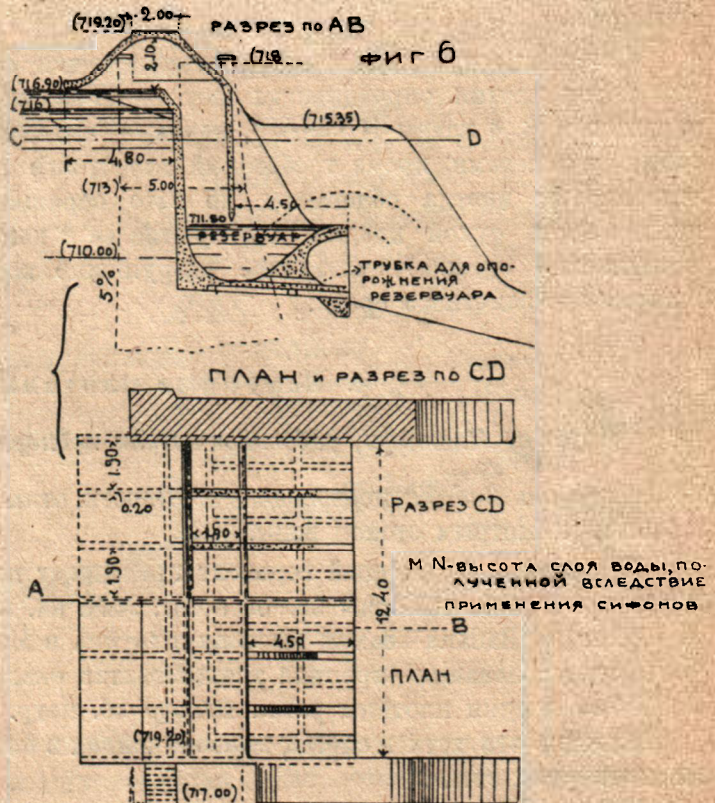
Плотина выстроена за 6 лет с 1908 по 1913 г. при летней работе.

Плотина обошлась в 2.323.764. фр. или 23,23 фр. за 1 куб. метр каменной кладки и 0,49 фр. за 1 куб. м. объема в одохранилища.

Сооружение оказалось в работе вполне удовлетворительным.

Одна из особенностей плотины Badana состоит в том, что она имеет не обычный водослив, а сифонный, типа Gregotti (для пропуска паводков).

БАТТАРЕЯ из 6 СИФОНОВ
GREGOTTI ПРОПУСК
90 м³ в 1" в ПЛОТИНЕ BADANA (GENÈS)
№ 84' МАСШТАБ 1:30



Автоматический сифонный водослив устроен также в плотине Lago-Genisio и еще раньше (в 1906 г.) в плотине Genischia.

Обыкновенные водосливы обошлись бы здесь очень дорого в виду редьма сильных дождей, что вызвало бы большую ширину водослива обычной конструкции.

Кроме того, в обыкновенном водосливе величина слоя переливающейся воды была бы больше и таким образом происходила бы бесполезная трата воды.

При водосливе с автоматическим сифоном можно задерживать в резервуаре большое количество воды, чтобы ее потом использовать.

На обыкновенном водосливе плотины Lagolungo был определен слой переливающейся воды в 1,^м40; когда же устроена была батарея из сифонов, расходом каждый в 15 кв. метр., то этот слой уменьшился до 0,^м10.

Наивысший паводковый уровень в бассейне понизился на 0,^м30, что уменьшило давление на плотину и повысило на целый метр рабочий горизонт воды в водохранилище, чем увеличен запас воды на 300.000 кв. метр.

В плотине Badane устроено 6 сифонных водосливов с общим расходом в 80 кв. метр. в секунду.

Лучший тип сифона—это тип Gregotti.

Материалом для сифонов служит бетон, а не железо, чтобы вода внутри прибора не так подвергалась замерзанию.

В теплых странах сифон Gregotti особенно рекомендуется.

Плотина Brasimone

имеет высоту 34,^м50, из коих 1,^м00 занимает фундамент, устроенный на прочной скале.

Напор равен 32,^м00 (черт. №№ 85 и 85¹).

Гребень плотины поднят на 1,^м50 выше наивысшего горизонта воды в водохранилище.

Плотина имеет криволинейное очертание в плане, но рассчитана, как подпорная стена.

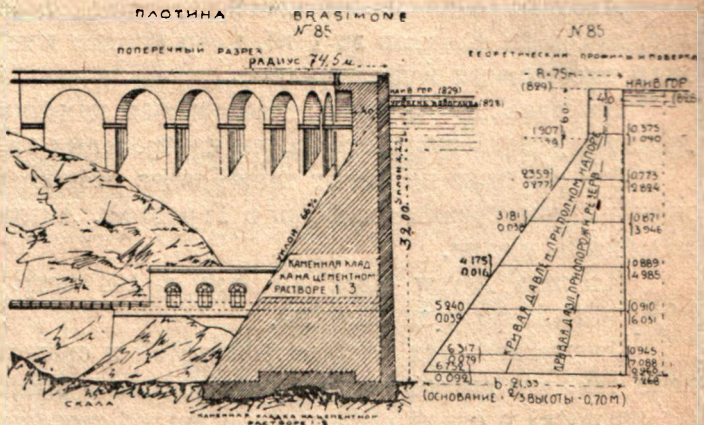
Радиус кривизны равен 74,^м50 при центральном угле, равном 128°32'. Плотина упирается в прочные скалистые берега долины.

Криволинейность очертания идет в запас прочности, что нужно было для успокоения местного населения, категорически протестовавшего против постройки плотины из боязни разрушения ее и наводнения.

Толщина плотины в основании равна 23,^м03.

Сечение—треугольник с надстройкой сверху.

Давление в швах кладки с напорной стороны немного превосходит давление воды на стенку в тех-же швах.



Основные размеры сечения отвечают теории треугольного профиля. Криволинейность плотины способствует уменьшению фильтрации через кладку плотины.

Максимальное напряжение кладки на сжатие равно 9,63 кгр./см.².

Коэффициент устойчивости на скольжение достаточно велик и скалывающие напряжения не выходят из пределов допустимых.

Водослив имеет ширину 80 метров и при толщине переливающегося слоя в 1 метр. пропускает расход в $110 \frac{\text{кб. м.}}{\text{сек.}}$, что отвечает стоку воды в бассейне в $7,5 \frac{\text{кб. м.}}{\text{сек.}}$ с 1 кв. километра.

Кладка плотины выполнена из крупных песчаниковых массивов на портланд-цементе.

Густой штриховкой на чертеже показаны части кладки, выполненные на жирном растворе: 500 кгр. цемента на 1 кб. м. песку вместо 300 кгр. на 1 кб. м. песку.

К наружному откосу кладка имеет все менее и менее жирный раствор (от 500 кгр. до 300 кгр. на 1 кб. м. песку).

Таким образом просочившаяся вода будет свободно выступать на наружном откосе, не оказывая вредного влияния на работу сооружения.

В нижней части плотины, в основании и у подводного откоса кладка выполнена особенно тщательно на растворе состава 1 : 1 с хорошей перевязкой.

Наличие хорошей кладки при высоте плотины в 32,00 не требует устройства водонепроницаемого слоя.

Плотина оказалась прекрасной в работе и обошлась в 800.000 франков, или в 20 франков за 1 кб. метр кладки или же 0,14 франков за 1 кб. метр вместимости водохранилища.

Ни одна из больших итальянских каменных плотин не имеет ни дренажа у подводного откоса, ни контрольных галлерей, ни колодцев.

Эти плотины не имеют также швов расширения между тем, как все плотины, построенные недавно в Германии, Англии и Америке снабжены подобными швами.

Плотина Arrow Rock высотой в 106 метр. является классическим образцом такого рода плотин.

Отсутствие этих предосторожностей и средств для контроля объясняется тем, что высота выстроенных плотин в Италии не слишком велика (< 60 metr.) с одной стороны, а с другой стороны они сложены из кладки на пуццолане с известью.

Дело в том, что пуццолана долгое время остается в кладке пластичной.

Поэтому кладка на этом растворе не дает трещин вследствие сжатия шва расширения, тогда как растрескивание весьма характерно для кладки из портланд-цемента.

Кроме того, имеется третье обстоятельство, благоприятное для итальянских плотин: они преграждают долины, открытые к северу, так что солнце не светит прямо ни на подводный откос, ни на наружный; к тому же каменная кладка во время большей части года омывается водой водохранилища и на кладке почти не отражаются изменения температуры.

Криволинейность очертания плотин способствует закрыванию образующихся трещин, которые дают в таком случае едва заметное и совершенно безвредное просачивание воды.

б) Арочные каменные плотины.

В арочных плотинах давление воды передается на берега или устои, прочность и устойчивость которых должна отвечать этому давлению.

Арочные плотины экономичнее плотин прямолинейных в плане при узком тальвеге.

На диаграмме № 86 кривая АВ представляет границы применения того или иного типа плотин.

Другими словами эта кривая дает равенство условий работы сооружений рассматриваемых типов с экономической точки зрения.

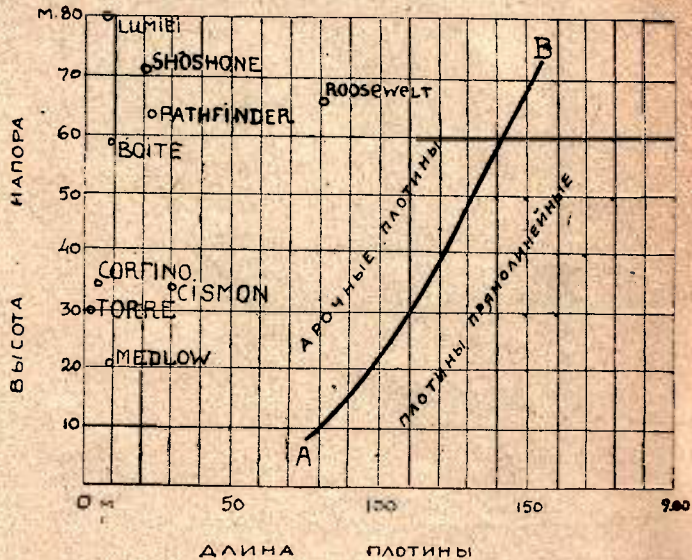
Если принять приближенно, что объем кладки плотины прямо пропорционален ширине ее основания, то кривую АВ можно применять следующим образом.

Если при данном напоре и отверстии плотины, как координатах, получаем точку на плоскости влево от линии АВ, то более экономична арочная плотина, перекрывающая отверстие одной аркой; если же эта точка пересечения располагается вправо от АВ, то преимущество будет на стороне прямолинейной плотины или плотины с несколькими арками, имеющей промежуточные опоры.

Диаграмма № 86 показывает, что выстроенные плотины с одной аркой имеют упомянутые точки пересечения *вдали* от линии АВ.

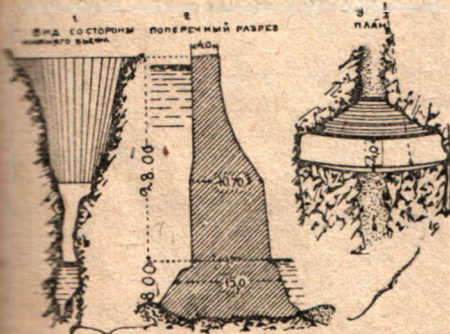
Из этого получаем вывод: плотины с одной аркой следует устраивать лишь в случае, когда имеем узкий, глубокий каньон с прочными скалистыми берегами и ложем. При большой разнице в ширине каньона поверху и понизу применяют переменный радиус арки.

№ 86



№ 87

ПЛОТИНА ВОДОПАДА С ПОПЕРЕЧНЫМ РАЗРЕЗОМ

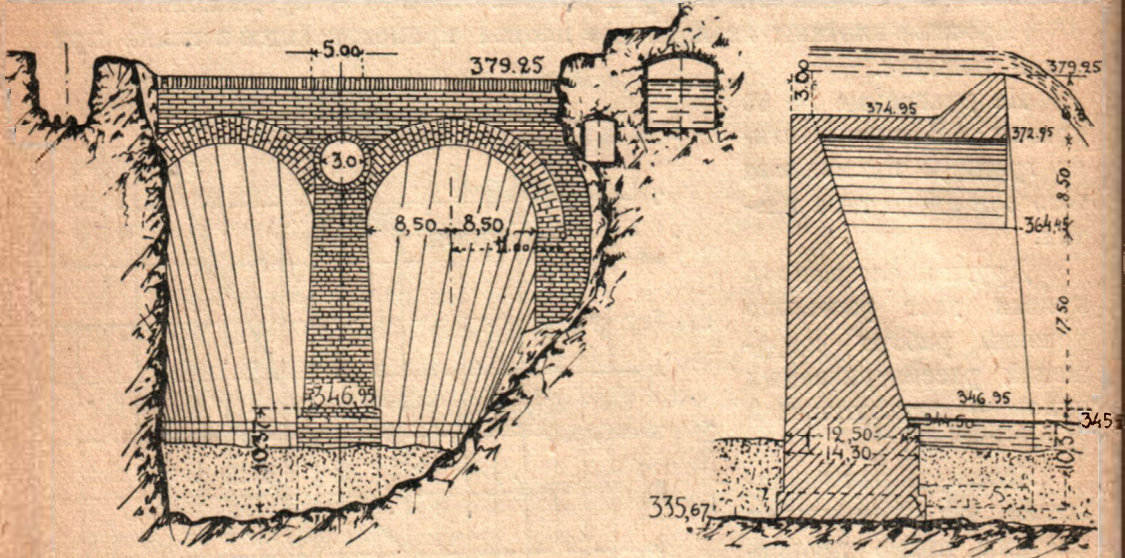


Наименьший объем кладки имеем, когда центральный угол дуги арки будет заключаться между 120° и 180° , что основано на выводах, сделанных на основании теории упругости.

Теперь перейдем к описанию новых итальянских арочных плотин.

Плотина Crosis' построенная в 1896 году, закрывает очень узкое русло потока Forre около Tarcento (черт. № 87).

ПЛОТИНА CISON



ВИД СОСТОРОНЫ НИЖНЕГО
БЪЕФА

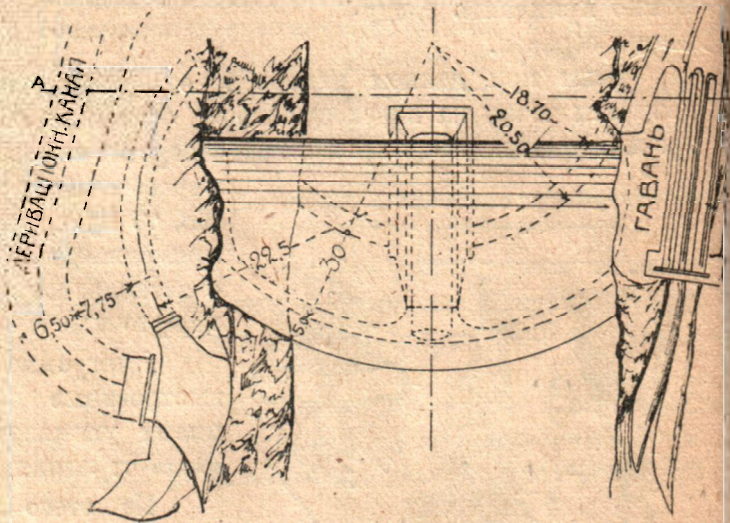
№ 88

ПОПЕРЕЧНЫЙ РАЗРЕЗ

Плотина имеет сверху арочное очертание с радиусом $38,250$, а ниже, где ущелье имеет ширину от 5 метр. до $1,00$, плотина прямолинейна. В этой последней части плотина работает как балка, закрепленная двумя концами.

Впоследствии плотина была надстроена еще на $2,250$.

Паводки проходят через верх плотины, работающей при этом, как водослив.



Плотина Cison заграждает ущелье с берегами из мелового известняка, подверженного размыву.

Подпорный горизонт поднят над нормальным уровнем воды на 34 метр. (черт. № 88).

Бассейн стока равен 395 кв. километров.

В случае сильных ливней, вследствие малой ширины ущелья расход воды в 1000 $\frac{\text{кб. м.}}{\text{сек.}}$ переливался бы чрез гребень плотины.

Во избежание размыва основания плотины водослив устроен, как показано на черт. № 88.

При этом вода падает далеко от основания плотины, на водяную подушку.

Подводный откос имеет радиус кривизны в 33 метра.

Эта плотина не отвечает принципу экономии, т. к. при составлении ее проекта исходили из того, что толщина арки в основании не должна быть меньше трети высоты.

Передний выступ плотины образован двумя арками с пролетами, имеющими 17 м. длины между пятами и промежуточным устоем.

Устойчивость выступающей части плотины рассчитана независимо от арки самой плотины. Плотина построена за время 1907—1910 г. и стоила 900.000 лир.

Плотина Росросе (черт № 89) преграждает на высоту до 60,^м00 глубокое и узкое ущелье реки.

Грунт—доломит.

Плотина имеет длину поверху 30 метр, а понизу около 10 метр.

Толщина стены понизу—13,^м50, а поверху—4,^м00.

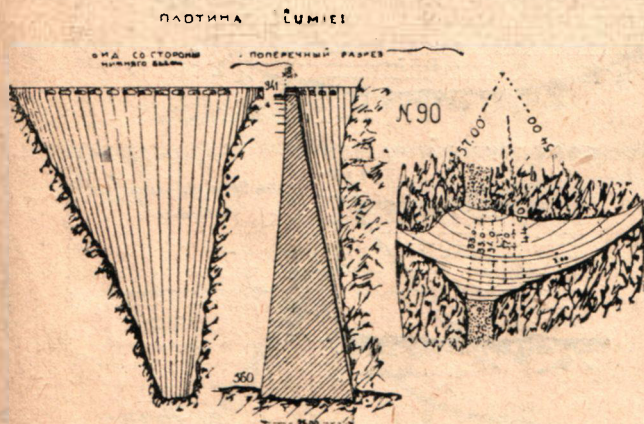
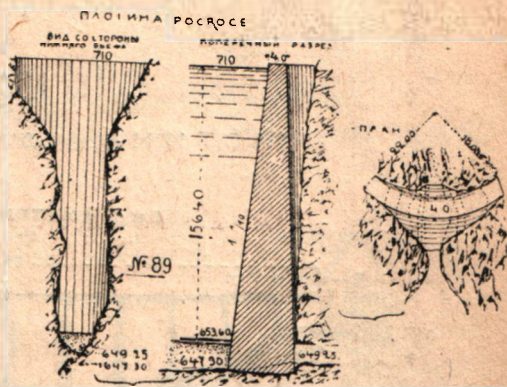
Радиус кривизны арки равен 22 метр.

При самом большом паводке расход воды равен 700 куб. метров в сек.

Вода отводится при этом чрез водослив и далее чрез водоотводный канал.

Плотина Lumiei предназначена для подпора воды в реке на высоту 85,^м00 (черт. № 90.)

Река протекает в узком ущелье шириной понизу 8,^м00 и по гребню плотины — 70 метр.



Следовательно необходимо было применить переменный радиус кривизны в целях большей экономии.

Толщина арки в основании равна 25,^м00, а вверху—3,^м00.

Объем кладки равен 35.000 куб. мтр. при стоимости 1.200.000 лир.

Поверхность бассейна реки равна 60 кв. килом. при очень большой поверхности водохранилища, в силу чего наводкам не придано большого значения: вода допускается даже переливаться чрез гребень плотины.

§ 5. Железо-бетонные плотины.

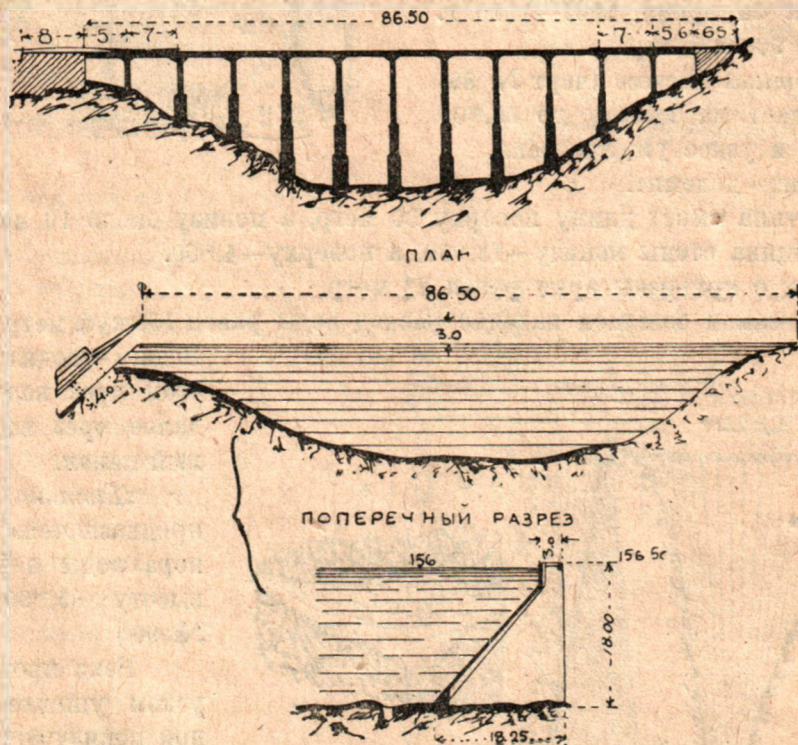
Железо-бетонные плотины, столь распространенные в Северо-Американских Соединенных Штатах, в Италии почти не применяются, ибо предпочитают более испытанные каменные плотины.

Так, на конкурсе в Риме крупная железо-бетонная фирма предложила проект железо-бетонной плотины высотой 18,00 типа, изображенного на черт. № 91.

№ 91

ПЛОТИНА ДЛЯ CAGLIARI

ВИД СО СТОРОНЫ НИЖНЕГО
БЬЕФА



Хотя проект был тщательно разработан, все же он был отвергнут.

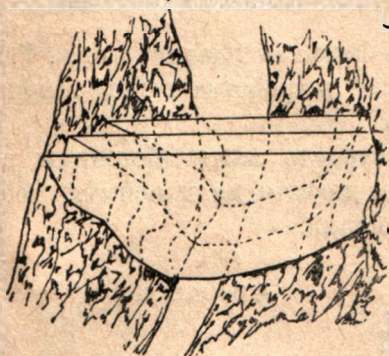
Несмотря на это в Италии все время фигурируют проекты железо-бетонных плотин, из коих прежде всего надо отметить конструкцию системы Рутенберга (плотина с разделным напором).

Черт. № 92 изображает конструкцию плотины. Здесь имеем ряд диафрагм между контрфорсами. Диафрагмы уменьшаются в высоте, образуя каждая резервуар.

ПЛОТИНА СИСТЕМЫ RUTEMBERG

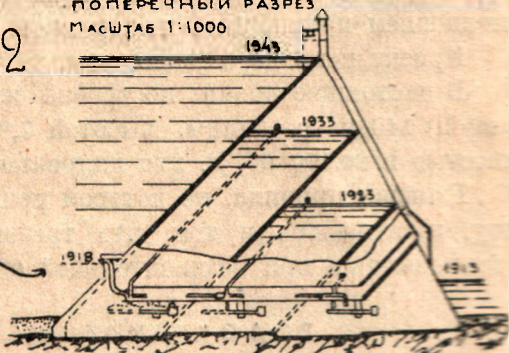
ПРОЕКТИРОВАННАЯ ДЛЯ ОЗЕРА САНРО МОРО

ПЛАН
МАСШТАБ 1:2000



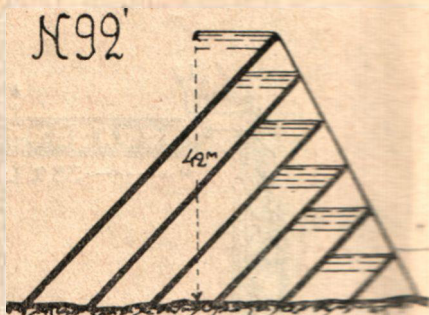
№ 92

ПОПЕРЕЧНЫЙ РАЗРЕЗ
МАСШТАБ 1:1000



Рутенберг усматривает следующие преимущества своей конструкции: 1) давление воды уменьшается весьма значительно при любой высоте напора; 2) опасное разрушение плотины и быстрое опорожнение водохранилища заменяется незначительной и легко исправимой поломкой при медленном истечении воды.

Так, если плотина имеет напор в 40 метр., то максимальный напор на отдельную диафрагму можно довести до 5 метр. при 8-ми диафрагмах, убывающих в высоте на 5 метров каждая (№ 92).

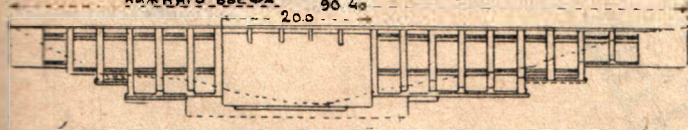


№ 92'

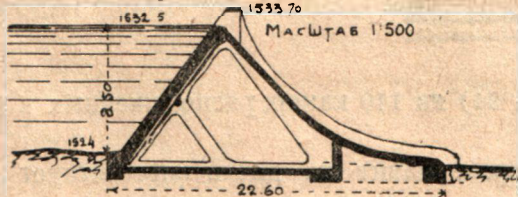
ПЛОТИНА № 93

МАЙРА - ПРОЕКТ DAMIOLI

ВИД СО СТОРОНЫ МАШТАБ 1:1000



ПОПЕРЕЧНЫЙ РАЗРЕЗ



Инж. Рутенберг предусматривал так же возможность устройства саморегулирующих приспособлений и предохранительных диафрагм во избежание какой-либо поломки при неожиданном уменьшении уровня воды в резервуарах.

По подсчетам Рутенберга плотина его конструкции дешевле

предыдущей, только что рассмотренной, на 40%.

Насколько известно, до сего времени плотина с раздельным напором не была осуществлена.

Братья Damioli представили проект плотины из железобетона длиной 90 метр., при высоте напора 8,^м50 (черт № 93).

Равнодействующая всех активных сил, действующих на плотину, пересекает основание в середине, что обеспечивает равномерную работу основания.

Чтобы предохранить напорную плиту от трещин (осадка, температура и пр.), Damioli запроектировал подводный откос из двойных плит с заполнением промежутка между ними асфальтом или гудроном.

Проект пока не осуществлен.

В настоящее время построена железобетонная плотина (инж. Felice Damioli) 140 метр. длины, высотой 7,^м30 для устройства водохранилища, емкостью в 20.000 кб. м. для гидростанции.

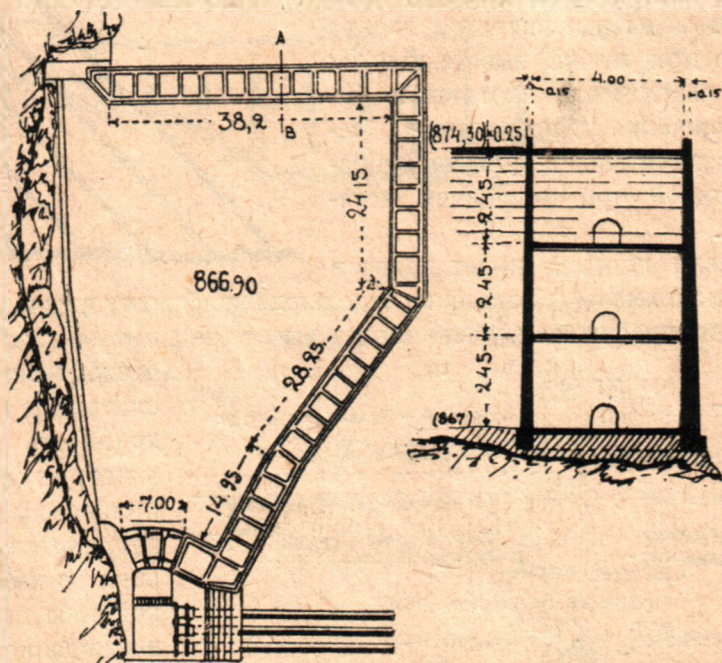
Главная причина, по которой решили строить железобетонную плотину, заключалась в том, что требовалось довести до максимума объем водохранилища при незначительной его площади.

ВОДОХРАНИЛИЩЕ

ADAMELLO

№ 94

РАЗРЕЗ А-В



Плотина состоит (черт. № 94) из 140 камер, расположенных в 3 ряда по высоте.

Вода, находящаяся в камерах, давит на дно и способствует устойчивости плотины, имея объем около 4000 кб. метр., столь же полезный, как вода водохранилища.

Таким путем емкость водохранилища увеличена на 25%.